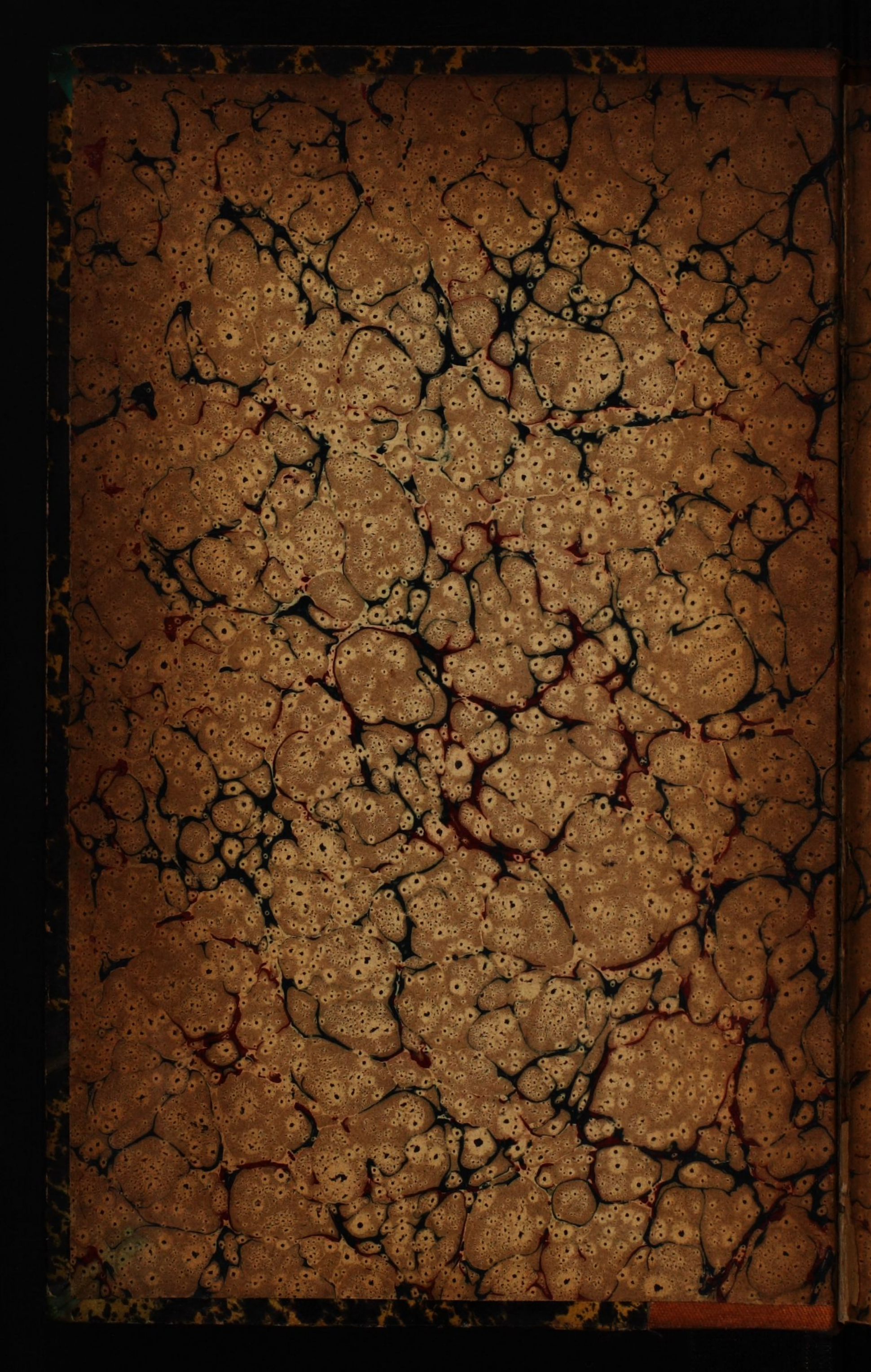
MONT-SERRAT
ET BRISAC

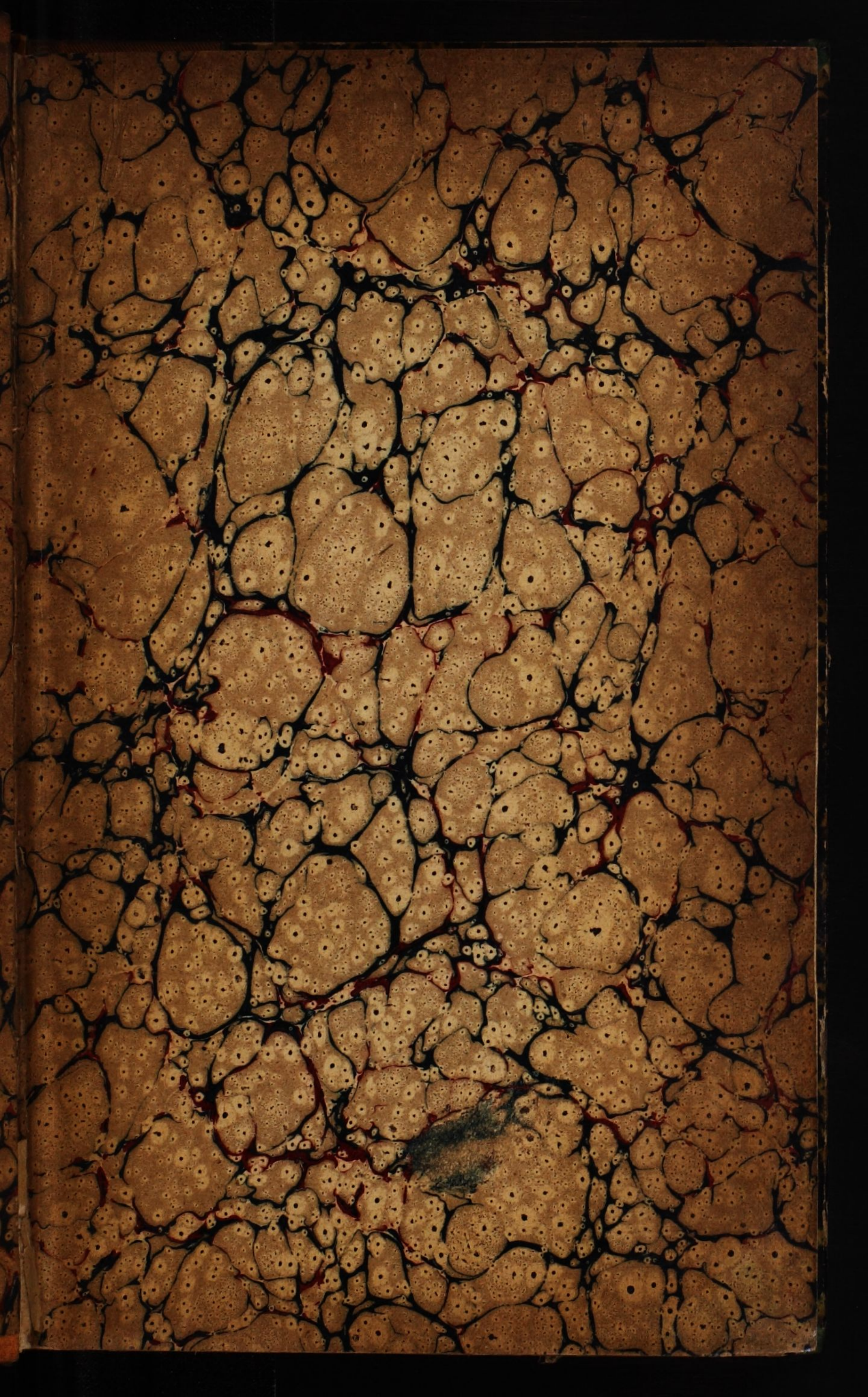
LE GAZ

[illegible] REL.

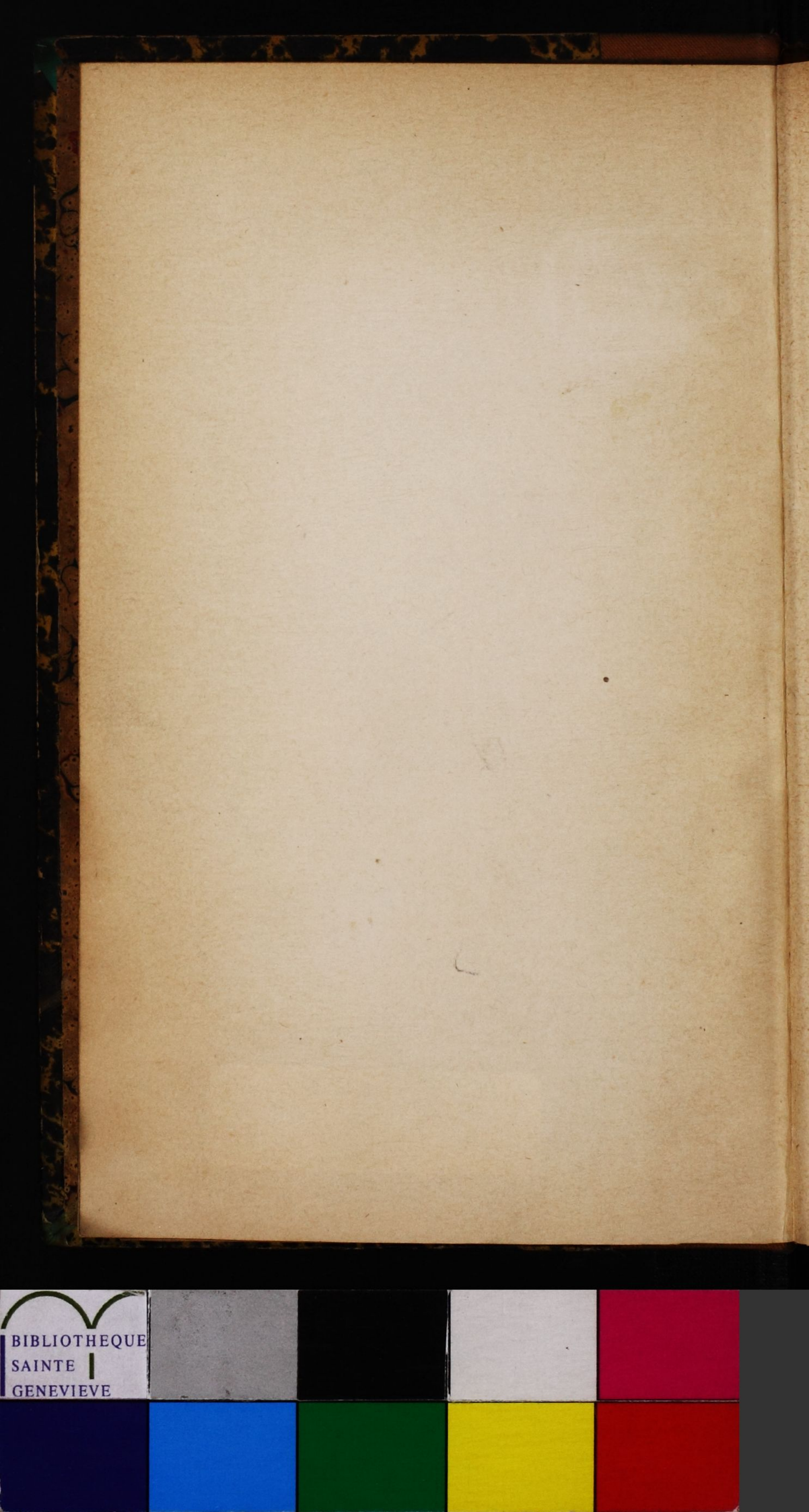









BIBLIOTHEQUE SAINTE - GENEVIEVE
D 910 593909 1


BIBLIOTHEQUE
SAINTE
GENEVIEVE

BIBLIOTHÈQUE DES CONNAISSANCES UTILES

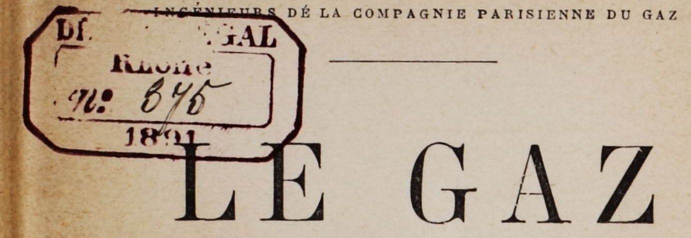
LE GAZ

ET SES APPLICATIONS

ÉCLAIRAGE — CHAUFFAGE — FORCE MOTRICE

E. DE MONT-SERRAT & E. BRISAC

INGÉNIEURS DE LA COMPAGNIE PARISIENNE DU GAZ



LE GAZ

ET SES APPLICATIONS

ÉCLAIRAGE — CHAUFFAGE — FORCE MOTRICE

Avec 86 figures intercalées dans le texte

FABRICATION DU GAZ
et Canalisation des voies publiques
ÉCLAIRAGE
Principaux brûleurs à gaz — Éclairage public et privé
CHAUFFAGE
Applications à la Cuisine et à l'Economie domestique
Applications industrielles
Emploi dans les Laboratoires
MOTEURS A GAZ
SOUS-PRODUITS DE LA FABRICATION DU GAZ

PARIS
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS
19, RUE HAUTEFEUILLE, PRÈS DU BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1892

AVANT-PROPOS

Nous vivons dans un siècle de progrès ; chaque jour amène une invention nouvelle, un perfectionnement spécial, et toutes ces inventions successives apportent petit à petit des modifications sensibles dans les mœurs et dans les habitudes des peuples civilisés.

De tous les besoins nouveaux créés depuis un siècle environ, l'un des plus importants est, sans contredit, l'éclairage artificiel ; s'imagine-t-on, par exemple, une grande cité où se meuvent les intérêts les plus considérables et les plus variés, se trouvant tout d'un coup, à la chute du jour, plongée dans une obscurité profonde ! La circulation s'arrête dans les rues, les transactions sont suspendues et la sécurité même des habitants et de leurs demeures est compromise. On reconnaît de suite la nécessité d'une lumière quelconque venant

remplacer celle du soleil, et les premiers essais d'éclairage datent presque de la fondation des villes.

Au début, les rues sont éclairées par les chandelles plus ou moins fumeuses ou les lampes des riverains, puis viennent les réverbères, parcimonieusement répartis sur la voie publique ; enfin, le gaz s'empare de la rue, on augmente peu à peu le nombre des lanternes et on arrive à l'éclairage actuel où les becs intensifs répandent partout, dans les avenues et les carrefours, leur brillante lumière. Depuis plus de soixante ans le gaz a joué un rôle considérable dans les progrès de l'éclairage ; aujourd'hui, sa consommation, à Paris, est supérieure de 230 pour 100 à celle de toutes les huiles végétales et minérales et de tous les corps gras ; les habitants des grandes villes, incités eux-mêmes par cet éclairage de la rue, ont doublé, triplé, dans l'intérieur de leurs habitations, la lumière dont ils se contentaient autrefois, et le gaz a été l'un des principaux adjuvants de ce luxe d'éclairage.

De nos jours, on a cru pouvoir faire mieux encore, et l'électricité est intervenue avec sa lumière éblouissante ; mais, les progrès du gaz sont constants, son action de plus en plus étudiée permet de trouver sans cesse de nouvelles applications, et c'est précisément l'usage bien compris de cet élément puissant d'éclairage et de chauffage que nous nous proposons d'examiner dans les pages qui vont suivre.

Nous avons donc rappelé très succinctement dans cet ouvrage le mode actuel de fabrication du gaz, et nous avons appelé plus particulièrement l'attention du lecteur sur les questions de pouvoir éclairant des sources de lumière, et sur l'éclairement.

Nous avons essayé de rechercher quels étaient, suivant les circonstances, les meilleurs becs à employer, indiquant les avantages et les inconvénients de chaque brûleur.

Le chauffage au gaz se répandant de plus en plus, nous avons montré les résultats qu'on pouvait obtenir au moyen des appareils les plus variés, soit pour la cuisine, soit pour l'économie domestique, soit pour le chauffage des appartements ; nous avons fait voir en même temps tout le parti qu'on avait tiré du gaz dans l'industrie et dans les laboratoires scientifiques.

Le champ des applications du gaz est loin cependant d'avoir été jusqu'ici entièrement exploité ; l'industrie aussi bien que l'économie domestique n'ont certainement pas encore utilisé d'une façon complète les qualités de toute nature que présente comme combustible le gaz de houille.

Les moteurs à gaz sont appelés à rendre de grands services ; nous avons indiqué leur fonctionnement en précisant, suivant les cas, le genre de moteur à employer et les avantages à retirer de cet emploi.

Enfin, ne voulant pas laisser inaperçus les sous-

produits de la fabrication du gaz, nous avons montré l'usage qu'on pouvait faire du coke, des produits ammoniacaux, du goudron et de ses dérivés.

Les recherches que nous avons faites dans un grand nombre de documents déjà publiés donneront peut-être quelque intérêt à cette monographie du gaz d'éclairage, et nous espérons qu'elle pourra être utile aux personnes qui auront à s'occuper du gaz aux divers points de vue de l'Éclairage, du Chauffage et de la Force motrice.

Eugène de MONT-SERRAT.
Émile BRISAC.

25 Août 1891.

LE GAZ

ET SES APPLICATIONS

ÉCLAIRAGE — CHAUFFAGE — FORCE MOTRICE

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

Découverte du gaz d'éclairage. — Philippe Lebon. — Thermolampe.— Murdoch. — Winsor. — Premiers essais d'éclairage en France, en Angleterre, en Allemagne. — Éclairage de Paris. — Usine du faubourg Poissonnière. — Autres usines dans Paris. — Compagnie parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz. — Consommation du gaz à Paris en 1855. — Progrès de la consommation jusqu'en 1890. — Éclairage des grandes villes : Londres, Vienne, Berlin, Cologne, Melbourne.

Lorsque, un jour de réjouissances publiques, le voyageur d'il y a plusieurs siècles parcourait vers le soir les bords de la Caspienne, il avait sous les yeux un spectacle merveilleux ; d'immenses gerbes de feu semblaient émerger de la grande mer intérieure et éclairaient tout l'horizon à plusieurs lieues à la ronde. Cette illumination gigantesque provenait de la combustion des huiles minérales naturelles et devait tout son éclat aux carbures d'hydrogène qui entrent dans la composition du gaz d'éclairage.

De même, dans une autre partie du monde, au fond du golfe de Paria, dans l'île de la Trinidad et sur les bords d'un lac de bitume dont la formation continue est due à des sources gazeuses naturelles, nous avons pu voir de temps à autre une lueur rougeâtre qui court sur une partie du lac. Ce sont encore les éléments du gaz d'éclairage qui, en brûlant, produisent cette lueur un peu moins brillante que la précédente, parce que les carbures sont moins éclairants.

On trouve également en Chine des dégagements gazeux sortant de puits d'eau salée ; les Chinois canalisent ce gaz naturel au moyen de bambous et l'utilisent pour chauffer et éclairer de grands chantiers où l'on extrait le chlorure de sodium des eaux-mères ; le gaz en brûlant permet d'évaporer les eaux et les ateliers sont aussi éclairés par la flamme du même produit.

Tout le monde enfin connaît de réputation les sources de pétrole de Pensylvanie auprès desquelles se trouvent nombre de dégagements de gaz inflammables qui sont employés à divers travaux.

La découverte du gaz d'éclairage remonte donc à la plus haute antiquité, mais on avait simplement utilisé un produit naturel dans l'endroit même où il sortait du sol, sans se rendre compte exactement des causes qui le produisaient, lorsque, dans le courant du XVIIe siècle, les expériences se précisèrent davantage. En 1659, le docteur Clayton, doyen de Kildare, se trouvant dans les environs de Wigan (Lancashire), rencontra sur son chemin une sorte de fossé peu profond, à moitié plein d'eau, d'où sortait un gaz combustible.

« Je fis épuiser l'eau du fossé, dit le docteur, afin de voir si la vapeur qui s'y trouvait aurait pris feu,

mais il n'en fut pas ainsi : je fis creuser plus profondément, après avoir atteint une profondeur de $0^{m},50$, nous trouvâmes un gisement de houille, j'introduisis une bougie dans le trou, le gaz s'enflamma et continua de brûler... L'idée me vint alors de prendre quelques morceaux de cette houille et de la chauffer dans un vase, il s'en dégagea une sorte de vapeur inflammable qui prit feu au contact d'une bougie allumée. Désireux de conserver cette vapeur, j'en remplis plusieurs vessies et, pour divertir des étrangers et des amis, je prenais souvent une de ces vessies que je perçais avec une épingle et que je pressais très près de la flamme d'une bougie allumée : alors le gaz s'enflammait au contact de la flamme et continuait de brûler, jusqu'à ce qu'il n'en restât plus dans la vessie. Ce qui était plus surprenant, c'est que personne ne pouvait faire la différence entre les vessies remplies de cet esprit et celles remplies d'air [1]. »

On restait toujours, comme on le voit, dans le domaine purement expérimental : mais en 1791, Philippe Lebon, ingénieur des ponts et chaussées, né en 1767 aux environs de Joinville (Haute-Marne), et qui était doué d'un esprit à la fois inventif et philosophique, concentra d'abord ses recherches sur les gaz provenant de la combustion des bois et imagina ensuite de chauffer à haute température dans un ballon de verre de la sciure de bois. Il fit passer les produits de la distillation dans un récipient plein d'eau et recueillit à l'autre extrémité de son appareil un gaz éclairant qui dégageait, en brûlant,

[1] *Philosophical Transactions*, pour les mois de janvier, février et mars, 1739.

une chaleur assez vive. Poursuivant ses essais, il prit en 1779 un brevet *sur les nouveaux moyens d'employer les combustibles plus utilement et à la chaleur et à la lumière et d'en recueillir les divers produits.* Lebon construisit à la même époque de nouveaux appareils qu'il désigna sous le nomde *thermolampes* et pour lesquels il prit, en 1801, un brevet en les qualifiant de *poêles qui chauffent et éclairent avec économie, et offrent avec plusieurs produits précieux une force motrice applicable à toutes sortes de machines.* Les moyens de produire le gaz d'éclairage et ses principales applications étaient découverts d'un seul coup. Lebon eut beaucoup de peine à faire saisir à ses amis tous les mérites de son invention, et il disait même à ses compatriotes, pour les convaincre, qu'il allait pouvoir les éclairer sans interruption de Paris à Chaumont.

« Quelle abondance de lumière », ajoute l'inventeur dans son mémoire sur les thermolampes ; « pour vous en assurer, comparez un instant le volume de la flamme de votre foyer à celle de votre flambeau ; la vue de la flamme récrée, celle des thermolampes a surtout ce mérite : douce et pure, elle se laisse modeler et prend la figure de palmettes, de fleurs, de festons. Toute position lui est bonne ; elle peut descendre d'un plafond, sous la forme d'un calice de fleurs et répandre au-dessus de nos têtes une lumière qui n'est masquée par aucun support, obscurcie par aucune mèche, ou ternie par la moindre nuance de noir de fumée. Sa couleur, naturellement si blanche, pourrait aussi varier et devenir ou bleue ou rouge ou jaune ; ainsi cette variété de couleurs que des jeux du hasard nous offrent dans

nos foyers, peut être ici un effet constant de l'art ou du calcul. »

Ce fut seulement dans la dernière période de ses travaux que Lebon employa de la houille pour la fabrication du gaz ; ce chercheur infatigable voyait déjà, par la pensée, tout le parti qu'on pouvait tirer du gaz autant pour l'éclairage que pour la force motrice, lorsqu'il mourut subitement, en 1804.

Sa veuve reçut une pension de 1200 francs en récompense des services publics qu'il avait rendus ; mais on oublie vite, en France comme ailleurs, et ce ne fut qu'en 1887, quatre-vingt-trois ans après sa mort et après de longues années d'utilisation fructueuse des diverses expériences de Lebon, qu'une statue lui fut élevée à Chaumont, dans son pays natal, par l'industrie du gaz reconnaissante.

A l'époque même où Lebon faisait en France ses premières tentatives d'éclairage, un ingénieur anglais, William Murdoch, établissait, à la fin de 1798, un appareil destiné à éclairer au gaz un bâtiment faisant partie de l'usine de Soho, où James Watt construisait les premières machines à vapeur. Cette coïncidence du début de deux inventions qui eurent un si grand retentissement est certainement curieuse. Ce ne fut d'ailleurs réellement qu'en 1805, que l'usine de Watt fut définitivement éclairée au gaz. Samuel Clegg, attaché à l'usine de Soho, perfectionna successivement un certain nombre des appareils qu'il avait vus fonctionner sous ses yeux. Enfin, un Allemand du nom de Winzler qui, pour faciliter ses rapports avec les Anglais, avait pris le nom de Winsor, s'empara de la découverte de Lebon, traduisit ses mémoires, s'en appropria une partie et, doué de

beaucoup d'activité et de facilité de persuasion, propagea rapidement l'éclairage au gaz en Angleterre, fonda plusieurs compagnies, fit miroiter aux yeux des actionnaires des bénéfices assez importants et obtint, en 1809, par sa faconde et sa ténacité, la concession de l'éclairage de quelques quartiers de Londres pour la *London and Westminster Chartered Gaslight and Coke Company*. Ce ne fut guère qu'en 1814 que l'éclairage public des rues fut organisé à Londres.

D'Angleterre, Winsor passa en France où il semble avoir importé l'éclairage au gaz ; il débute en éclairant, en 1817, le passage des Panoramas, puis le Luxembourg et le pourtour de l'Odéon. Le succès relatif encouragea de nouvelles expériences, et M. de Chabrol, alors préfet de la Seine, fit installer l'éclairage au gaz à l'hôpital Saint-Louis, en 1818 ; la petite usine qui alimentait cet hôpital subsista jusqu'en 1860.

Ces trois hommes, Lebon, Murdoch et Winsor peuvent donc être considérés comme les véritables fondateurs de l'industrie du gaz, mais chacun d'eux joue un rôle bien défini ; tout le mérite de l'invention revient à Lebon, les premières applications sérieuses furent faites par Murdoch, et la propagation rapide de la découverte est due à Winsor.

En Allemagne, le gaz fut introduit par une compagnie anglaise, la *Imperial Continental Gas Association*, qui débuta en éclairant les villes de Hanovre et de Berlin, en 1826, et peu à peu se répandit dans toute l'Allemagne et en Autriche. Vienne ne fut éclairée qu'en 1851.

La première compagnie, fondée à Paris en 1821 par Pauwels, avait une usine au faubourg Poissonnière ; la

réussite ne fut pas immédiate ; mais la constance opiniâtre d'une autre compagnie fondée en 1824 dans le quartier de Courcelles, par Manby et Wilson, triompha de toutes les résistances, et à partir de cette époque, la consommation du gaz augmenta rapidement. Cinq autres compagnies s'étaient partagé l'éclairage de Paris, mais les canalisations voisines aux extrémités des périmètres de ces diverses compagnies étaient souvent une source de conflits dont les consommateurs supportaient les conséquences ; aussi jugea-t-on utile de confier à une seule société les divers réseaux en même temps que les usines qui les alimentaient, et c'est de cette fusion qu'est née, en 1855, la *Compagnie parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz*.

Cette dernière Compagnie, actuellement chargée de l'important service de l'éclairage de Paris, possède onze usines dont quelques-unes, fort importantes, couvrent jusqu'à vingt-cinq et même quarante hectares. Elle peut produire journellement plus de 1.500.000 mètres cubes de gaz, et ses gazomètres permettent d'emmagasiner en totalité, près de 1 million de mètres cubes. Son personnel dépasse 8000 hommes. La consommation annuelle de la Ville de Paris et de sa banlieue qui était, en 1855, de 40.774.400 mètres cubes s'est rapidement accrue pour atteindre, dans le cours de l'année 1889, le chiffre de 312.258.070 mètres cubes.

Le tableau ci-dessous permet d'apprécier l'accroissement annuel de la consommation parisienne pendant une période de trente-cinq ans :

ANNÉES	CONSOMMATIONS ANNUELLES	AUGMENTATIONS ANNUELLES	OBSERVATIONS
	m. c.	m. c.	
1855	40.774.400	»	
1856	47.335.475	6.561.075	
1857	56.042.240	8.707.165	
1853	62.159.300	6.116.660	
1859	67.628.116	5.468.816	
1860	75.518.922	7.890.806	
1861	84.230.676	8.711.754	
1862	93.076.220	8.845.544	
1863	100.833.258	7.757.038	
1864	109.610.003	8.776.745	
1865	116.171.727	6.561.724	
1866	122.334.605	6.162.878	
1867	136.569.762	14.235.157	Exposition.
1868	138.797.811	2.228.049	
1869	145.199.424	6.401.613	
1870	114.476.904	(en moins) 30.722.520	
1871	87.481.346	— 26.995.558	
1872	147.668.331	(en plus) 60.186.985	
1873	154.397.113	6.728.787	
1874	160.652.202	6.255.084	
1875	175.938.244	15.286.042	
1876	189.209.789	13.271.545	
1877	191.197.228	1.987.439	
1878	211.949.517	20.752.289	Exposition.
1879	218.813.875	6.864.358	
1880	244.345.324	25.531.449	
1881	260.926.769	16.581.445	
1882	275.368.705	14.441.936	
1883	283.864.400	8.495.695	
1884	287.443.562	3.579.162	
1885	286.463.999	(en moins) 979.563	
1886	286.851.360	(en plus) 387.361	
1887	290.774.540	3.923.180	
1888	297.697.820	6.923.280	
1889	312.258.070	14.560.250	Exposition.

Cette progression fut suivie, petit à petit, par les villes de province les plus importantes, et actuellement

on compte en France un millier de villes éclairées au gaz. Ces différentes villes renferment plus de 12.000.000 d'habitants, et leur consommation annuelle est de 628.000.000 de mètres cubes environ. Ce chiffre comprend la consommation de Paris ; on peut donc dire que la consommation de gaz de la métropole est égale à celle de la France entière.

Le développement de la consommation n'a pas atteint seulement des régions où le gaz était encore inconnu, mais il a progressé aussi d'une façon assez sérieuse par tête d'habitant. Ainsi, par exemple, si nous prenons la consommation à Paris par tête d'habitant, nous voyons qu'elle passe :

De	33^{mc},09	en	1855
A	67^{mc},79	en	1872
Et à	107^{mc},20	en	1886
Pour atteindre	108^{mc}, »	en	1889

Ainsi, en trente-quatre ans, la consommation du gaz par habitant a plus que triplé.

A Lyon, la consommation annuelle par habitant est de 64 mètres cubes, tandis qu'elle est de 55 à Marseille et de 77 à Bordeaux.

A Londres, la consommation annuelle totale de la ville entière, pour une population de 4.764.000 habitants, est de 787.873.000 mètres cubes en 1888, ce qui donne 165 mètres cubes par habitant. Nous sommes donc encore loin, à Paris, de la consommation anglaise. Londres, en effet, brûle plus de gaz à lui seul que toute la France.

La consommation du gaz en Angleterre qui atteint en totalité 2.682.489.740 mètres cubes est presque quintu-

ple de celle de nos villes de France. Les grandes villes industrielles sont les principaux centres de cette consommation de gaz ; ainsi, par exemple, tandis qu'Édimbourg ne consomme que 99^{mc},6 par habitant, la consommation de Glasgow est de 147 mètres cubes, celle de Liverpool de 157 mètres cubes, celle de Manchester de 164 mètres cubes, celle de Birmingham de 260 mètres cubes.

En Allemagne, le gaz a fait des progrès également considérables, ainsi :

Berlin consomme	actuellement	par habitant	80^{mc},66
Cologne	—	—	103^{mc}, »
Munich	—	—	58^{mc}, »
Dresde	—	—	58^{mc}, »
Stuttgart	—	—	40^{mc}, »

Dans les pays d'outre-mer, dans l'Inde, en Chine et en Australie où le gaz a fait son apparition depuis quelques années, il est devenu de suite d'un usage courant. Nous citerons à titre de curiosité, la consommation annuelle de la ville de Melbourne (Australie), qui est de 28.300.000 mètres cubes, pour une population de 244.000 habitants, ce qui correspond à 116 mètres cubes par habitant. Il est piquant d'observer que cette ville, située presque aux antipodes de Paris, qui a à peine cinquante-trois années d'existence, consomme déjà plus de gaz que les plus grandes et les plus anciennes cités du continent européen.

Quel chemin parcouru depuis l'origine, en moins d'un siècle ! Et tout nous fait prévoir que de nouvelles applications viendront encore augmenter le domaine d'un produit dont l'emploi est presque indéfini.

CHAPITRE II

FABRICATION DU GAZ ET CANALISATION DES VOIES PUBLIQUES

Distillation. — Condensation. — Épuration — Extracteurs. — Compteurs de fabrication. — Gazomètres. — Régulateurs d'émission. — Propriétés du gaz d'éclairage — Conduites de distribution sous les voies publiques. — Conduites en fonte, conduites en tôle et en plomb. — Joints. — Fuites par la canalisation. — Diamètres des conduites. — Pertes de charge. — Longueur des canalisations à Paris en 1890.

Le gaz d'éclairage est produit généralement par la distillation de la houille en vase clos. La première question qui se pose donc à l'esprit est celle du choix d'un charbon propre à la fabrication du gaz ; les diverses espèces de houille ne conviennent pas également à cette fabrication et, tout en tenant compte des questions d'éloignement des charbonnages, des facilités de transport, des exigences spéciales à chaque localité, il y a lieu de choisir tout d'abord une houille riche en matières volatiles et dont le résidu qu'on appelle coke soit utilisable. Ainsi tout combustible minéral, renfermant moins de 28 à 30 pour 100 de matières volatiles, devra être rejeté comme ne pouvant produire qu'une faible quantité de gaz d'un pouvoir éclairant médiocre.

L'analyse élémentaire des diverses houilles démontre qu'elles contiennent des proportions variables d'hydro-

gène, d'oxygène et de carbone et l'expérience a prouvé que les charbons contenant à la fois une quantité importante d'hydrogène qui facilite la production des hydrocarbures gazeux, c'est-à-dire des agents les plus puissants du pouvoir éclairant, et des quantités modérées d'oxygène, dont la transformation en acide carbonique et oxyde de carbone, altèrent la qualité du gaz, devaient être les plus recherchés pour la fabrication de ce dernier produit.

Les charbons qui réalisent, au maximum, ces deux conditions, sont compris dans la catégorie des houilles dites *grasses et sèches à longue flamme* et donnent à l'analyse élémentaire les résultats suivants par 100 kilogrammes de matière sèche et, déduction faite des cendres :

Oxygène	7,71
Hydrogène	5,40
Carbone	85,89
Azote	1,00
	100,00

Les principaux types de ces houilles demi-grasses se trouvent dans les bassins du département du Nord, du Pas-de-Calais, de Mons (Belgique), de la Sarre et de la Ruhr (Allemagne) et de Newcastle (Angleterre), etc., etc.

Le tableau suivant résume, d'une façon synoptique, les produits de la décomposition de la houille par la chaleur.

Houille.

GAZ	GOUDRON	EAU AMMONIACALE	COKE
Produits éclairants. Benzine, toluène et traces d'autres carbures de la série aromatique. Carbures d'hydrogène H^{2n} C^{2n}. Étylène, propylène, acétylène et traces de naphtaline. **Produits non éclairants** Gaz des marais Hydrogène. Oxyde de carbone. **Produits nuisibles ou inutiles** Acide carbonique. Hydrogène sulfuré. Ammoniaque. Sulfure de carbone. Cyanogène. Azote, Oxygène, etc.	**Produits neutres.** Naphtaline. Paraffine. Chrysène. Benzole. Toluène. Cumène, etc. **Produits acides.** Acide phénique. Acide rosolique. **Produits basiques.** Pyridine, etc. Aniline, etc.	Carbonate d'ammoniaque. Sulfhydrate d'ammoniaque. Sulfocyanhydrate d'ammoniaque. Cyanhydrate d'ammoniaque.	Carbone. Matières minérales et terreuses.

La houille fournit donc, par la distillation : du gaz d'éclairage, du goudron, de l'eau ammoniacale et du coke. Leurs proportions relatives sont en moyenne les suivantes, pour 100 kilogrammes de houille distillée.

Gaz.	30 mètres cubes.
Goudron.	$5^{kg},50$
Eau ammoniacale	$7^{litr},50$
Coke.	$1^{hect},85$

Afin de compenser les irrégularités qui existent nécessairement dans la composition des divers charbons à gaz, on a souvent obtenu d'excellents résultats en mélangeant des combustibles de plusieurs provenances, dont on opère la distillation simultanée, et en ayant soin d'introduire dans l'appareil distillatoire des proportions de charbons telles, que le gaz et le coke produits, soient aussi rapprochés que possible des types qui ont été imposés.

Distillation. — La distillation s'opère en vase clos dans des appareils désignés sous le nom de *cornues*. La forme la plus généralement adoptée pour les cornues est celle d'un cylindre ayant pour section une courbe en forme de D renversé. Les cornues sont en fonte de fer ou en terre, mais les cornues de terre sont généralement utilisées à cause de leur prix, de leur durée et de leur résistance aux températures élevées. La longueur des cornues est d'environ 2m,80 à 3 mètres, elles sont placées horizontalement, soit seules, soit en plus grand nombre au-dessus les unes des autres, dans un four qui peut renfermer jusqu'à neuf cornues. Le plus souvent, les cornues sont au nombre de sept dans les fours à foyers ordinaires, c'est-à-dire à feu direct, et au nombre de huit ou neuf dans les fours chauffés au moyen de générateurs à oxyde de carbone.

Au début de la distillation, la température doit être assez élevée, afin que la houille soit saisie brusquement par la chaleur, ce qui facilite sa transformation en hydrocarbures gazeux fixes ou peu condensables, mais il ne faut pas que la température soit trop élevée ensuite afin de ne pas décomposer ces mêmes hydrocarbures. En général, quand on veut produire beaucoup, sans diminuer le titre du gaz, il faut distiller à haute tempéra-

ture, et augmenter l'épaisseur de la couche de combustible dans les cornues. La distillation à température basse d'un combustible en couches minces, donnera moins de gaz, mais lui conservera un excellent pouvoir éclairant. Les températures de distillation sont comprises entre 800° et 1300°. La quantité de combustible introduit dans la cornue pour une seule opération, varie de 110 à 150 kilogrammes. La durée de la distillation est en général de quatre heures ; il est inutile et même nuisible de prolonger outre mesure la distillation, car la proportion des hydrocarbures riches diminue lorsque la durée de la distillation est trop longue. Il résulte d'expériences directes que c'est dans les deux premières heures de la distillation que la quantité du gaz produite est la plus grande.

Le tableau suivant dû à Payen, résume bien la composition du gaz pendant une distillation d'une durée de cinq heures, et démontre que la distillation en quatre heures doit être préférée.

100 VOLUMES	HYDROGÈNE BICARBONÉ	HYDROGÈNE CARBONÉ	HYDROGÈNE	OXYDE DE CARBONE	AZOTE	RAPPORT DE LA LUMIÈRE
1re heure.	13	82,5	»	3,2	1,3	54
2e —	12	72	8,8	1,9	5,3	48
3e —	12	53	16	12,3	1,7	40
4e —	7	56	21,3	11	4,7	35
5e —	0	20	10	10	10	10

Les cornues terminées à leur partie antérieure par une tête en fonte sont fermées par une sorte de tampon en tôle emboutie dont les bords sont garnis à chaque opération de terre argileuse qui forme *lut*. Le tampon

est maintenu par une vis de pression passant dans l'écrou d'une traverse mobile, reliée à la tête de cornue par des oreilles. On emploie également des tampons sans lut, ce sont alors des obturateurs en fonte, fixés à

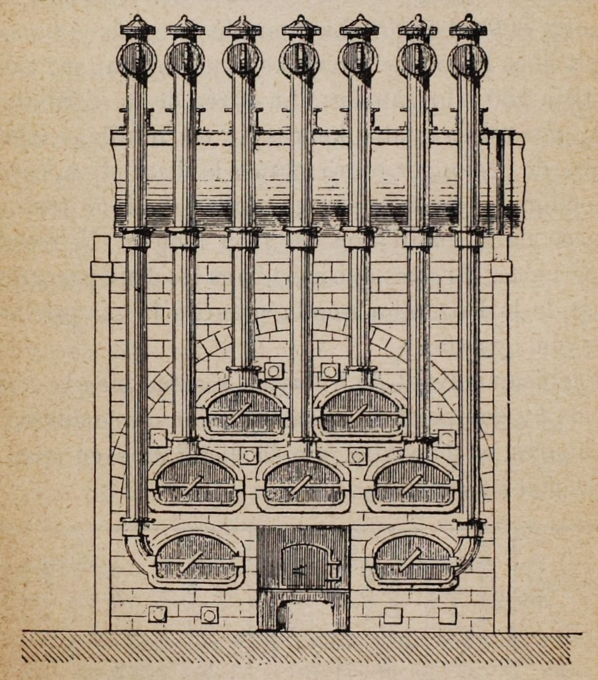


Fig. 1. — Façade d'un four de distillation.

l'une des extrémités de la tête de cornue et pouvant tourner autour d'un pivot ; ils viennent s'appliquer à joint précis contre l'ouverture de la cornue, sont maintenus par une vis de pression et retenus, quand ils sont fermés, à l'extrémité opposée à celle de la charnière, par une pièce en fer.

Ainsi que nous l'avons vu, les fours chauffés à feu direct comprennent en général sept cornues, il n'y a qu'un seul foyer par four ; la figure 1 représente le four vu de face avec les tuyaux montants, les plongeurs et le barillet. La figure 2 représente une coupe verticale parallèle à la façade du four et les

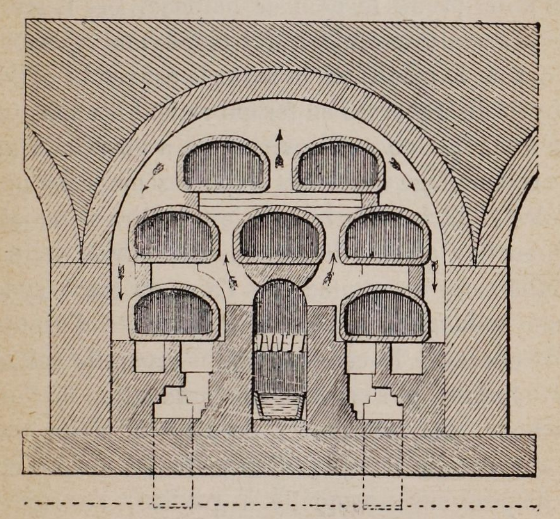


Fig. 2. — Coupe d'un four de distillation.

flèches indiquent la circulation des flammes. Le foyer doit être assez profond, pour pouvoir y introduire à la fois, une quantité suffisante de combustible sans être obligé de l'ouvrir trop souvent. Le tirage est réglé au moyen de registres placés à l'entrée des cheminées traînantes qui conduisent les produits de la combustion dans les grandes cheminées de l'usine, lesquelles, aux termes du décret du 9 février 1867, doivent avoir 33 mètres de hauteur. Les fours sont

placés latéralement, à côté les uns des autres, afin de diminuer la déperdition de la chaleur par le rayonnement, et adossés bout en bout, deux par deux. Dans les grandes usines, on a ainsi sur chaque façade d'un massif en maçonnerie de briques, 8 fours voisins adossés à 8 autres fours également voisins, et l'ensemble de ces 16 fours prend le nom de batterie. Les fours sont munis d'armatures en fer qui empêchent la déformation, et tout le massif de la batterie est rendu solidaire au moyen de traverses en fer qui relient les armatures.

Il y a vingt-cinq ans environ, on a cherché à appliquer au chauffage des fours à gaz les procédés préconisés dès 1832 par Ebelmen, c'est-à-dire à remplacer la combustion directe du combustible sur la grille par la combustion, au contact de l'air, du gaz oxyde de carbone mélangé d'une certaine quantité d'azote. Ce procédé nécessite la construction d'appareils spéciaux, dits *gazogènes*, qui servent à la production de l'oxyde de carbone. On fait passer de l'air à petite vitesse dans une couche de coke d'un mètre et demi d'épaisseur, disposé sur une grille à gradins, l'oxygène de l'air, au contact du coke incandescent des couches inférieures, donne lieu à la formation d'acide carbonique qui, traversant à son tour une couche épaisse de combustible, porté au rouge sombre, se transforme en oxyde de carbone. Ce dernier gaz est amené sous les cornues où il rencontre de l'air qui y arrive par un autre conduit, et la combustion, assez vive, produit des températures très élevées. On a songé à utiliser, autant que possible, la chaleur qu'emportaient avec eux les produits de la combustion et on les a fait passer dans un espace rempli de briques superposées,

qui emmagasinent une partie de cette chaleur. Au bout d'un certain temps, on renverse la marche de l'appareil, l'air froid est obligé de traverser cette chambre de briques et s'échauffe avant d'arriver au contact de l'oxyde de carbone. On continue ainsi indéfiniment en faisant passer tour à tour l'air froid et les gaz chauds provenant de la combustion, dans les mêmes chambres de briques. La chaleur ainsi récupérée est assez considérable, car la température, à la base des grandes cheminées de l'usine, était autrefois de 1000 à 1100°, tandis que depuis l'adjonction des chambres de briques, cette même température ne dépasse pas 400°. Aussi a-t-on donné à ces chambres le nom de récupérateurs.

Les premiers essais de chauffage des fours à gaz au moyen de gazogènes ont été faits vers 1864, par William Siemens, à l'usine de Vaugirard, qui appartient à la *Compagnie Parisienne du Gaz*. Depuis lors, on a proposé quelques modifications aux appareils de Siemens ; M. Lencauchez, M. Ponsard ont imaginé des appareils analogues qui fournissent des températures très élevées, avec une légère économie de combustible ; mais, d'une manière générale, on peut dire que, si les gazogènes sont excellents, au point de vue de la régularité d'allure et de l'égalité de température, l'économie de combustible qu'ils procurent, et qui est d'environ 23 pour 100 sur les fours ordinaires à feu direct, est largement compensée par l'excédent de dépenses qu'impose leur construction.

Le service de 8 fours simples est fait par 8 hommes, soit un homme par four, chacun ayant une fonction spéciale, les uns chargent les cornues, les autres retirent le coke incandescent, d'autres introdui-

sent le combustible dans les foyers, d'autres enfin ferment les cornues au moyen des tampons. La durée de la distillation d'une charge étant de quatre heures, chaque homme a environ deux heures de travail et deux heures de repos par charge, par conséquent, dans une journée de douze heures de présence, le travail effectif est réduit à six heures.

Les cornues peuvent être chargées au moyen de pelles par des chauffeurs ; ceux-ci, avec une certaine habitude qu'ils acquièrent assez rapidement, disposent convenablement un poids donné de houille dans la cornue. Le chargement à la pelle est souvent remplacé par le chargement à la *cuiller*[1]. On a essayé également quelques procédés de chargement mécanique, qui, jusqu'ici, n'ont pas donné des résultats très satisfaisants et, de plus, dans ces dernières années, M. Coze, directeur du Gaz de Reims, a imaginé de se servir d'une cornue inclinée, dans laquelle le charbon se répand par son propre poids, tandis que le coke sort à l'extrémité inférieure. Ces essais ont été très restreints jusqu'à présent, et le chargement, soit à la pelle, soit à la cuiller, reste le mode le plus usité.

Le coke qu'on retire des cornues toutes les quatre heures est éteint au moyen de seaux d'eau sur une cour pavée, en dehors de l'atelier, et ramené ensuite en partie soit auprès des fours, soit auprès des ouvertures des gazogènes, pour servir à l'alimentation des foyers, le surplus est dirigé sur les appareils concasseurs.

Condensation. — La distillation de la houille donne

[1] La cuiller est un demi-cylindre en tôle que l'on remplit de charbon, on l'introduit ensuite dans la cornue et on la retourne pour déverser le charbon qu'elle contient.

naissance à des vapeurs condensables dont on cherche à se débarrasser immédiatement pour simplifier les opérations ultérieures, ayant pour but d'éliminer les produits nuisibles qui accompagnent le gaz. Ces vapeurs condensables sont composées d'eau, de carbures d'hydrogène, de naphtaline et de sels ammoniacaux. Une bonne condensation doit satisfaire aux conditions suivantes :

Maintenir dans le gaz la plus forte proportion possible d'essences légères ou benzol, contribuant au pouvoir éclairant.

Retenir dans le goudron la plus grande quantité possible de vapeurs de naphtaline, dont la présence dans le gaz, insignifiante au point de vue du pouvoir éclairant, peut amener des obstructions dans les conduites.

Retenir enfin en dissolution dans l'eau condensée la plus forte quantité possible de sels ammoniacaux.

Au sortir de chaque cornue, les produits de la distillation sont entraînés dans des tuyaux montants, verticaux, d'un diamètre suffisant pour éviter les obstructions, de 150 à 165 millimètres environ, reliés par un tuyau horizontal à un deuxième tuyau vertical qui plonge dans une grande conduite horizontale (fig. 3), de 600 à 800 millimètres de diamètre.

Cette conduite, qu'on nomme le *barillet*, repose sur les fours eux-mêmes et renferme de l'eau dans laquelle le tuyau adducteur des matières gazeuses pénètre suffisamment pour empêcher le retour du gaz dans la cornue. Le barillet, qui sert pour plusieurs fours, a donc pour première fonction d'isoler les cornues les unes des autres. A la partie supérieure, il est relié à une conduite qui donne passage au gaz, tandis qu'environ à la hauteur du niveau de l'eau, il est muni d'une tubulure

latérale qui permet l'écoulement d'une grande partie des produits condensés dans l'eau. Ces produits composés de goudron et d'eau ammoniacale, se rendent directement, par une canalisation spéciale, dans des citernes, où ils se superposent par ordre de densité.

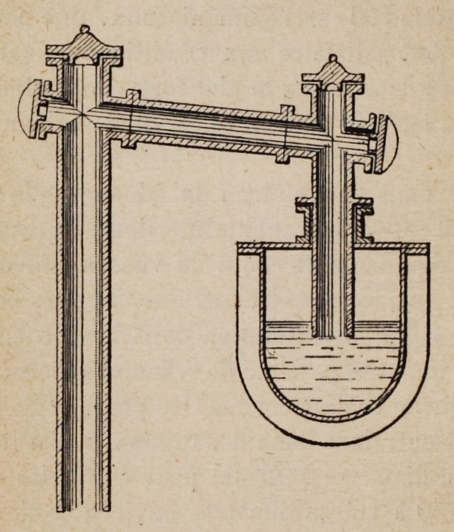


FIG. 3. — Tuyau montant, plongeur et barillet.

L'autre partie des vapeurs condensables accompagne le gaz d'éclairage ; on commence à en opérer la séparation dans de longs tuyaux horizontaux à grand diamètre, dits *collecteurs*, où la marche est lente et la température assez élevée, 55° à 60°. Grâce à ces dispositions, le goudron qui se condense dans ces collecteurs n'entraîne avec lui qu'une faible proportion du benzol contenu dans le gaz, environ 6 à 7 pour 100, et le surplus des essences légères demeure à l'état de carbure fixe. L'élévation de la température dans le collecteur

empêche la condensation de la totalité du goudron, et ce dernier reste encore en quantité suffisante pour pouvoir entraîner avec lui, lors des condensations ultérieures, la naphtaline qu'il est absolument indispensable de séparer du gaz avant de l'envoyer dans les conduites de ville.

Au sortir des collecteurs, le gaz est dirigé sur une série de tuyaux verticaux, disposés comme des jeux d'orgue et d'un diamètre assez fort pour laisser passer tout le gaz qui sort des collecteurs. En hiver, le refroidissement produit par l'air ambiant est suffisant, mais en été, il est indispensable d'arroser continuellement ces jeux d'orgue par un courant d'eau tombant en pluie; on abaisse ainsi la température du gaz qui était de 55° à 60° à l'entrée des jeux d'orgue, à 12° ou 20° à la sortie, suivant les saisons.

La puissance de la condensation dépend de la surface des condenseurs, et l'expérience démontre que pour arriver à un résultat satisfaisant, il faut une surface réfrigérante de 22 à 25 mètres carrés par 1000 mètres cubes de gaz fabriqués en vingt-quatre heures.

Un grand nombre d'usines possèdent encore un autre appareil de condensation, dit *colonne à coke*. Les vapeurs goudronneuses, contenues dans le gaz, peuvent être arrêtées en les mettant en contact avec des corps solides, présentant une certaine surface. On fait passer le gaz dans un grand cylindre en fonte contenant du coke en menus fragments, mais ce dernier s'empâtant rapidement, on lui a presque partout substitué des débris de cornues. Le gaz circule au milieu des nombreux interstices que présentent ces fragments et dépose sur leurs rugosités les particules globuleuses qu'il entraîne avec lui ; il s'introduit dans la colonne à la partie infé-

rieure de celle-ci, monte à travers les tessons des cornues en continuant sa condensation, et sort à la partie supérieure de la colonne à coke par une tubulure de côté analogue à celle qui lui a permis de pénétrer dans l'intérieur.

EXTRACTEURS. — Afin de diminuer la pression du gaz sur les tampons des cornues et de faciliter son parcours dans tous les appareils de condensation, on a installé, à la suite des condenseurs, des machines dites *extracteurs*, qui ne sont autres que des pompes aspirantes et foulantes qui aspirent le gaz dans les cornues et le refoulent dans tous les appareils qu'il doit parcourir avant d'atteindre la sortie de l'usine. Ces machines, plus ou moins puissantes, suivant les exigences de la fabrication, sont mues par la vapeur, et leur marche est réglée par la production du gaz à chaque instant de la journée.

Les extracteurs, en facilitant la circulation du gaz au fur et à mesure de sa production, l'empêchent de séjourner longtemps dans les cornues et contribuent, dans une très faible mesure, à diminuer l'importance des dépôts de *graphite* ou charbon de cornues qui proviennent d'un commencement de décomposition des hydrocarbures sous l'influence de la haute température. Ce graphite, à la vérité, est utilisé comme produit industriel, mais outre qu'il restreint l'espace utile de la cornue, il a encore l'inconvénient de rendre cette dernière moins conductrice de la chaleur. On enlève le graphite en faisant passer un courant d'air froid dans la cornue, et en le détachant légèrement avec une pince en fer.

Au sortir des extracteurs, le gaz contient encore un peu de matières goudronneuses en suspension ; pour les enlever entièrement, on fait usage d'un appareil imaginé

il y a une quinzaine d'années, par MM. Pelouze et Audouin. Le gaz pénètre dans une cloche en fonte renfermant une sorte de panier percé de trous très voisins les uns des autres, et d'un millimètre et demi de diamètre ; le gaz se trouve ainsi projeté contre une série de plans fixes placés également à la distance d'un millimètre et demi ; il subit alors une série de chocs rapides, une sorte de laminage intime, qui ont pour effet de déformer les globules goudronneux et de les réunir sous forme liquide. On peut se rendre compte immédiatement du résultat obtenu, car avant son passage dans le condensateur, le gaz a l'aspect d'une vapeur plus ou moins teintée ; il en sort complètement incolore. Il arrive ainsi aux cuves d'épuration entièrement dégoudronné, ce qui est singulièrement utile pour la manipulation et la durée des matières épurantes. Un condensateur contenant une cloche d'environ 1 mètre cube de capacité, paraît suffire pour une usine qui produit 100.000 mètres cubes de gaz par vingt-quatre heures.

Épuration. — Lorsque le gaz est sorti des appareils de condensation, il a été débarrassé de la plus grande partie des produits nuisibles ou inutiles qu'il entraînait et qui pouvaient être enlevés mécaniquement, mais il contient encore d'autres produits nuisibles, tels que l'acide carbonique, l'hydrogène sulfuré ou l'ammoniaque. Pour enlever une partie de l'ammoniaque, on fait passer le gaz dans une série de cuves remplies de sciure de bois imbibée d'eau froide [1] ; des lavages successifs dissolvent,

[1] Dans un certain nombre d'usines à l'étranger, on procède au lavage du gaz pour en recueillir l'ammoniaque et on emploie dans ce but des *laveurs* dits *Standard Kirkham*. Ces appareils permettent de ne laisser dans le gaz, à sa sortie, que $0^{gr},10$ à $0^{gr},20$ d'ammoniaque

à la longue, les sels ammoniacaux et on recueille l'eau ammoniacale résultant de cette dissolution. La sciure bien arrosée d'eau est disposée dans les cuves sur une hauteur de 40 à 50 centimètres environ, et on compte qu'une surface d'un demi-mètre carré de sciure humide suffit pour enlever l'ammoniaque contenu dans 1000 mètres cubes de gaz.

Pour absorber l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré, on emploie de l'hydrate de chaux et de l'oxyde de fer naturel, mais on se sert avec avantage, dans un grand nombre d'usines, d'une matière épurante, dite *matière Laming*, du nom de son inventeur ; cette matière se fabrique de la manière suivante : on prend du sulfate de fer du commerce qu'on fait dissoudre dans une bâche contenant de l'eau chauffée par un courant de vapeur. On fait couler la dissolution sur de la sciure qu'on dispose de façon à ce qu'elle en soit bien imprégnée ; on étend cette sciure sulfatée sur une aire plane et on y verse uniformément de la chaux éteinte. On brasse ensuite le mélange pendant un certain temps, il se forme du sulfate de chaux, du sesquioxyde de fer hydraté et un peu de chaux reste à l'état libre. La sciure a pour but de rendre la matière épurante plus meuble et plus perméable au gaz. Les proportions employées pour la fabrication de cette matière, sont environ les suivantes : pour 1 mètre cube de sciure, pesant en moyenne 250 kilogrammes, on prend 4 hectolitres

par mètre cube. A Paris, on emploie des cuves à sciure. Les résultats obtenus par l'un ou l'autre de ces dispositifs, ne diffèrent pas sensiblement de ceux que l'on obtient en Angleterre, où les laveurs ont été de tout temps employés.

de chaux éteinte pesant 180 kilogrammes, et 350 kilogrammes de sulfate de fer.

En présence de l'hydrogène sulfuré qui se trouve dans le gaz, l'hydrate de sesquioxyde de fer donne du sesquisulfure de fer et de l'eau; il ne reste plus, dans le gaz, qu'une très faible proportion d'acide carbonique libre.

La matière épurante dont la composition chimique a été modifiée par le passage du gaz, est exposée ensuite au contact de l'air atmosphérique et se revivifie d'elle-même. Le sulfure de fer abandonne la totalité de son soufre et se transforme en sesquioxyde de fer, en reproduisant la matière primitive qui peut ainsi servir un nombre considérable de fois; on estime que 1 mètre cube de matière épurante, peut arriver facilement à épurer 50.000 mètres cubes de gaz.

Il résulte d'observations intéressantes, faites à l'usine expérimentale de la Villette, que les matières d'épuration, fabriquées chimiquement, ont une puissance épurante proportionnelle à leur teneur en oxyde de fer et peuvent retenir pratiquement 300 kilogrammes de soufre pour 100 kilogrammes d'oxyde de fer Fe^2O^3. L'oxyde de fer naturel en retient moins, parce qu'il est à l'état d'oxyde de fer anhydre.

La matière épurante est disposée dans de grandes cuves en fontes et repose sur un plancher en bois percé de trous, pour permettre l'écoulement des condensations, le plancher est à environ $0^m,20$ du fond de la cuve. La hauteur de la matière dans la cuve est d'environ $0^m,50$ à $0^m,60$ et les grandes cuves ont 11 mètres carrés de surface. Ces cuves sont fermées par un couvercle en tôle à ceinture de fonte qui plonge dans une

gorge profonde pleine d'eau afin d'assurer la fermeture hermétique de l'appareil. Le gaz arrive à la partie supérieure de la cuve, à l'un des angles, par une conduite qui dépasse la matière épurante de quelques centimètres, traverse toute la matière et sort à la partie inférieure. La matière des cuves est renouvelée périodiquement et celle des dernières cuves de chaque atelier d'épuration qui précèdent les cuves dites de sûreté, est toujours renouvelée, lorsqu'un papier imprégné d'acétate de plomb, présenté au jet de gaz, est noirci ou même légèrement teinté par le gaz, ce qui indiquerait que l'élimination de l'acide sulfhydrique n'est pas absolument complète.

Pour enlever les couvercles des cuves, on se sert de grues de divers modèles, et en particulier de grues roulantes mobiles sur des rails qui longent tout l'atelier. On isole chaque cuve, l'une après l'autre, au moyen de valves, on enlève à la pelle la matière qui a servi, et on la remplace par de la matière neuve ou revivifiée. Celle qui a servi, est étendue sous un hangar en couches minces, et le courant d'air atmosphérique la revivifie. Lorsque les matières épurantes sont devenues lourdes et hors de service, on les lessive pour en extraire au moyen de l'eau, tous les sels ammoniacaux qu'elles peuvent contenir, et comme elles sont assez riches en cyanures, les fabricants de bleu de Prusse en tirent encore un parti assez avantageux après ce lavage.

Compteurs de fabrication. — Afin de connaître exactement la quantité de gaz fabriqué, on le fait passer dans un appareil désigné sous le nom de *compteur de fabrication*, parce qu'il indique en effet le nombre de mètres cubes qui le traversent. Ce compteur se com-

pose d'une grande caisse en fonte, établie sur un bâtis en maçonnerie ; à l'intérieur, se meut une sorte de tambour en tôle étamée mobile autour d'un axe horizontal, et qui est formé de plusieurs compartiments dont la construction sera étudiée dans tous ses détails lorsque nous parlerons du compteur d'abonnés. Le tambour est fermé à la partie postérieure par une calotte sphérique dans laquelle pénètre la conduite qui amène le gaz. La grande enveloppe en fonte est remplie d'eau jusqu'à une hauteur qui dépasse un peu le niveau de l'axe du tambour. Au fur et à mesure que le gaz arrive, il pénètre dans l'un des compartiments, le remplit, fait tourner le tambour par la pression qu'il exerce, et les compartiments d'entrée, n'ayant aucune communication avec ceux de sortie, il s'échappe par la conduite de sortie qui l'amène aux gazomètres. A mesure que le premier compartiment se vide, le deuxième se présente, le gaz y pénètre de même et ainsi de suite d'une manière continue.

L'axe du volant porte une roue dentée, qui engrène avec une série de roues également dentées, faisant connaître le nombre de tours du tambour et transformant ce nombre en mètres cubes, dizaines, centaines, mille.

Ces compteurs sont naturellement de dimensions variées, suivant l'importance de l'usine, et, quelques-uns peuvent laisser passer jusqu'à 50.000 mètres cubes en vingt-quatre heures. Le niveau d'eau est maintenu constant au moyen d'un courant d'eau continu. Les conduites d'entrée et de sortie de ces appareils sont munies de valve, on peut ainsi les isoler du reste de la fabrication et une conduite spéciale permet au gaz de circuler directement dans la canalisation de l'usine sans passer par le compteur.

GAZOMÈTRES. — La production horaire du gaz étant à peu près constante pendant vingt-quatre heures, et la consommation de la soirée et de la nuit étant infiniment plus considérable que celle de la journée, il faut nécessairement mettre en réserve une forte proportion du gaz fabriqué pendant le jour, et l'emmagasiner. Les appareils destinés à cet emmagasinement sont désignés sous le nom de *gazomètres*.

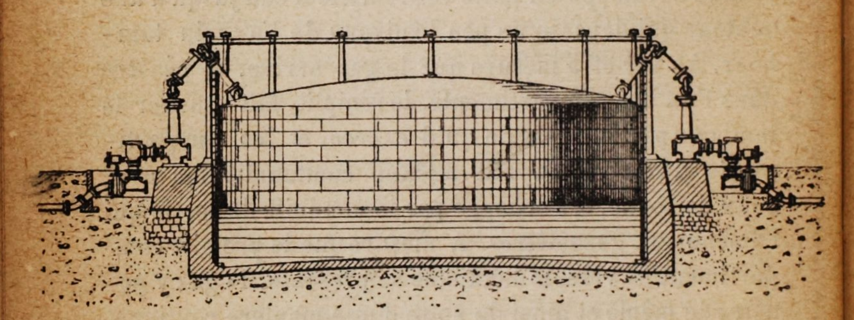


FIG. 4. — Gazomètre.

Tout gazomètre (fig. 4) se compose de deux parties principales, une cuve remplie d'eau et une cloche qui peut plonger tout entière dans l'eau de la cuve. La cuve est une sorte d'immense puits maçonné dont les dimensions correspondent à l'importance des quantités de gaz à emmagasiner ; le fond de la cuve ou radier exige, aussi bien que la cuve elle-même, des soins particuliers de construction, il doit être absolument isolé des nappes d'eau du voisinage et revêtu ainsi que l'intérieur de la cuve d'un enduit en ciment d'excellente qualité. L'épaisseur de la maçonnerie de la cuve varie avec la nature des terrains traversés et doit pouvoir opposer

une résistance plus que suffisante à la poussée des terres avoisinantes, même en tenant compte d'une forte surcharge. La margelle de la cuve doit être établie de telle manière, que l'eau ne puisse pas s'infiltrer dans la maçonnerie et on la recouvre généralement de dalles plates. La cloche est formée d'un cylindre en tôle surmonté d'une calotte sphérique. On construit la cloche en assemblant sur place un grand nombre de feuilles de tôle qu'on réunit ensemble au moyen de rivets à tête ronde, posés à chaud, et qu'on rive ensuite. On a soin de ménager à chaque feuille de tôle un certain recouvrement, on enduit la surface extérieure d'une couche de minium et ensuite d'une ou plusieurs couches de goudron qui servent à conserver la tôle, à la préserver de l'oxydation et à boucher les fuites qui pourraient se former aux coutures. La partie supérieure de la calotte est soutenue dans la cuve par une charpente en bois qui est utilisée pendant la construction, et qui demeure dans l'intérieur quand le gazomètre est terminé.

Autour de la cuve et sur la margelle même, sont disposés des massifs, en maçonnerie ou en fonte, qui supportent les colonnes destinées à guider la cloche dans ses mouvements. Ces colonnes sont généralement un peu plus hautes que la cloche au bout de sa course et pleine de gaz ; elles sont toutes reliées entre elles par des entretoises, à la partie supérieure, de façon à former un ensemble solidaire. Les guides proprement dits sont installés aux flancs intérieurs de la cuve et scellés dans la maçonnerie, ils se prolongent contre les colonnes mentionnées ci-dessus, et sont formés de deux bandes de fer, comme une sorte de rails de $0^m,20$ à $0^m,25$ d'écartement et reliés parallèlement, de manière à former un

système rigide. Sur ces rails, ou plutôt contre ces rails, courent des galets tangentiels fixés à la cloche et disposés deux par deux, les galets ont des axes perpendiculaires à la cloche, ils ont tous les deux le même diamètre et agissent toujours perpendiculairement à ce diamètre sans exercer sur la cloche une action qui tende à la déformer.

Les gazomètres varient de dimensions, suivant l'importance de l'usine, on en voit depuis 1000 à 1500 mètres cubes de capacité jusqu'à 200.000 mètres cubes et au delà [1].

Lorsque la place fait défaut, ou que la construction des cuves est fort difficile, ce qui arrive dans les terrains très meubles ou déjà fouillés, on établit des gazomètres à plusieurs levées qui se développent comme les parties d'une lunette d'approche et sont appelés *gazomètres télescopiques*.

Un gazomètre télescopique se compose d'une cloche ordinaire, dont le rebord inférieur se redresse extérieurement pour former une sorte de rigole d'une largeur de $0^m,25$ environ, et d'une profondeur suffisante pour constituer une fermeture hydraulique. Extérieurement à cette cloche, plonge également dans la cuve une enveloppe cylindrique en tôle d'un diamètre plus grand de $0^m,25$ à $0^m,30$ environ, et d'une hauteur telle qu'elle plonge entièrement dans l'eau; le rebord de la partie supérieure de ce cylindre est replié dans l'intérieur, comme celui de la partie inférieure de la cloche. Lorsque le gazomètre est en haut de sa course, les deux rigoles

[1] On construit en ce moment à Londres à l'usine East-Greenwich un gazomètre télescopique à six levées, de 330.000 mètres cubes de capacité.

ainsi formées s'engagent l'une dans l'autre. Le gaz en arrivant, fait monter d'abord le gazomètre intérieur, puis, lorsqu'il est plein, il entraîne avec lui l'enveloppe cylindrique, l'eau qui reste enfermée dans les rigoles empêche toute communication du gaz avec l'extérieur. On peut également avoir encore une deuxième enveloppe cylindrique qui est entraînée par la première comme celle-ci, par la cloche et, on obtient ainsi, un gazomètre d'une capacité beaucoup plus grande.

Le gaz arrive dans les gazomètres soit par l'intérieur au moyen de tuyaux relevés en forme de siphon, soit par des conduites extérieures communiquant avec la canalisation de l'usine : ces conduites sont formées de plusieurs tronçons dont deux sont mobiles et montent et descendent avec la cloche. Dans les parties mobiles, le jeu de l'articulation se fait au moyen d'un *Stuffing-box;* ces conduites exigent un certain soin dans leur établissement. L'alimentation des gazomètres se fait par une ou plusieurs conduites d'entrée, et à l'extrémité diamétralement opposée, se trouvent les conduites de sortie qui sont articulées comme les conduites d'entrée. Afin de se rendre compte à chaque instant de la quantité de gaz que contient un gazomètre, la cloche est munie d'une échelle peinte dont les divisions correspondent aux milliers et centaines de mètres cubes.

Dès l'origine de la fabrication du gaz, ces masses de gaz enfermées dans un gazomètre, avaient répandu une certaine terreur dans leur voisinage immédiat ; Clegg désireux de calmer ces inquiétudes, s'était approché un jour publiquement d'un gazomètre plein de gaz, une bougie allumée à la main, et perçant d'un coup de poinçon la tôle du gazomètre, il enflamma le jet de gaz

qui en sortait et fit voir qu'il brûlait comme un simple bec très puissant. Plus récemment, en 1870, pendant l'investissement de Paris, on craignait de voir une explosion de gaz, produite par les projectiles ennemis, détruire une partie de la masse couvrante de l'enceinte. Le Conseil de défense s'adressa à la Compagnie parisienne du gaz pour lui rendre compte de ces craintes. La Compagnie répondit : « Que les gazomètres ne pouvaient pas faire explosion, même quand ils seraient percés par des projectiles incendiaires. En effet, pour qu'une explosion puisse avoir lieu, il faudrait que le gazomètre fût rempli d'un mélange explosif de gaz et d'air, ce qui n'arrive jamais. Si une cloche était percée par un projectile ordinaire, le gaz sortirait par l'ouverture et s'échapperait dans l'atmosphère sans faire naître aucun danger.

« Si le projectile était muni d'une fusée, elle pourrait enflammer le courant gazeux qui sortirait de la cloche, il se produirait un jet de flamme s'élevant verticalement, sans danger d'explosion ni d'incendie, la flamme s'éteindrait quand la cloche serait vidée. »

L'événement se chargea bientôt de justifier ces prévisions ; à l'usine d'Ivry, un obus traversa une des cloches ; le gaz s'enflamma, brûla extérieurement en une immense gerbe de feu pendant quelques minutes et s'éteignit quand la contenance totale de la cloche fut consumée. A la Villette, un obus éclata dans un gazomètre; la tôle fut perforée en plusieurs points, le gaz s'échappa par les ouvertures et ce fut tout.

Régulateur d'émission. — Lorsque les valves des conduites de sortie des gazomètres sont ouvertes, le gaz s'échappe par la conduite et reçoit de la cloche, à me-

sure qu'elle descend, une pression qui correspond au poids de cette dernière. Cette pression est souvent trop considérable pour l'alimentation des conduites de ville

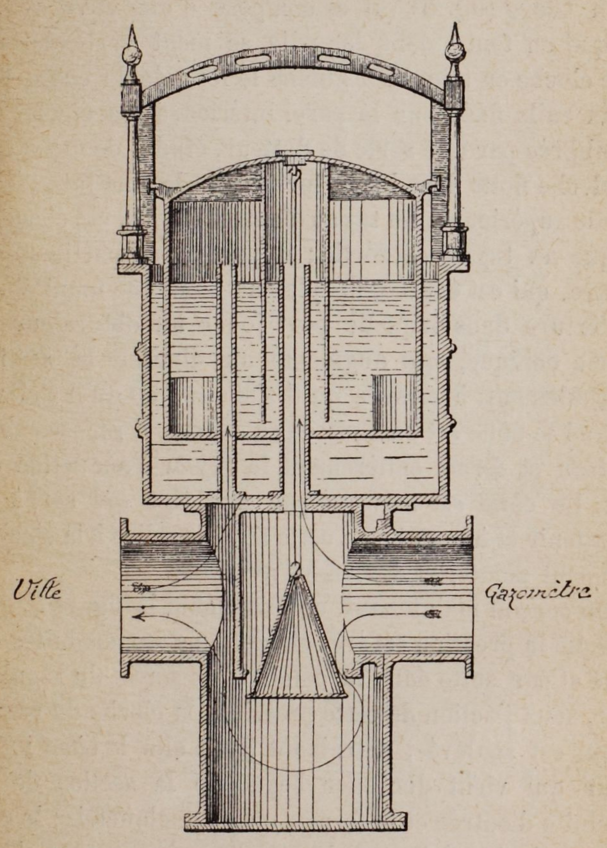


Fig. 5. — Régulateur d'émission.

et aurait l'inconvénient d'augmenter les fuites dans la canalisation. Afin de la modérer, de la régulariser et de la rendre simplement suffisante pour alimenter con-

venablement les extrémités les plus lointaines du réseau, on fait passer le gaz dans un régulateur.

Le régulateur d'usine le plus employé est celui qui est dû à Clegg (fig. 5). Il se compose d'une cuve cylindrique en fonte, dans laquelle se meut verticalement une cloche en tôle, bien guidée le long de la cuve, par deux rails fixés sur la paroi intérieure. La cloche est équilibrée par une sorte de flotteur, étudié de façon que la cloche flotte dans l'eau, lorsqu'elle baigne jusqu'à sa partie supérieure. Le tuyau d'entrée du gaz est concentrique au tuyau de sortie ; il porte à sa partie supérieure, qui est évasée, un plateau boulonné muni d'une ouverture dans laquelle peut jouer un obturateur de forme conique, qui augmente ou diminue la section d'écoulement, à mesure qu'il s'abaisse ou qu'il s'élève. Quand le cône est en haut de sa course, il repose sur le plateau et ferme entièrement le tuyau d'adduction du gaz. Le cône est traversé par une tige qui sert à le maintenir et à le guider ; cette tige est reliée à la cloche, elle peut monter et descendre avec elle.

On conçoit maintenant, en examinant la figure 5, que lorsque la pression est très élevée dans les conduites de ville et par suite dans la conduite de sortie du régulateur, sous l'action de cette pression, la cloche du régulateur est soulevée, entraînant avec elle le cône intérieur qui vient diminuer beaucoup la section de la conduite d'entrée et la fermer même quelquefois ; le gaz ne sort ainsi qu'à la pression exacte qu'on a voulu obtenir et qu'on détermine au moyen de poids disposés sur la cloche. Des manomètres qui sont en communication avec les diverses conduites où circule le gaz, indiquent immédiatement, en millimètres d'eau, la pression du gaz

dans ces conduites. Cette question de régularisation de la pression du gaz est excessivement importante. Pendant la journée, dans certaines grandes villes, à Paris par exemple, on maintient une pression variant, dans tout le réseau, de 25 à 30 millimètres d'eau ; le soir, au contraire, au moment où l'allumage des becs privés et des lanternes publiques se produit presque partout à la fois, on maintient dans les conduites, à la sortie de l'usine, une pression allant jusqu'à 140 et 150 millimètres d'eau.

Les régulateurs sont souvent installés dans des locaux spéciaux auxquels on donne le nom de salles d'émission. Ces régulateurs sont complétés par des systèmes de valves manœuvrées à la main, permettant de régler en même temps l'écoulement du gaz à la sortie de l'usine. Les conduites d'émission sont, sur ce point, munies de manomètres ou indicateurs de pression qui permettent de constater la pression à tous les moments du service.

Dans beaucoup d'usines, les indications se produisent d'une manière automatique, à l'aide de crayons, traçant sur des feuilles dites *feuilles de pression*, disposées pour cet objet, des diagrammes qui sont recueillis avec soin comme contrôle du service journalier. Sur différents points de la ville, à Paris par exemple, dans les bureaux de section établis dans chaque quartier, des indicateurs de pression à crayon automatique permettent de contrôler la pression sur ces points, de manière à suivre, à chaque instant, tous les incidents qui se produisent dans le service.

Ce contrôle de pression simultané, soit à l'usine, soit sur certains points de la canalisation, permet de régler à tous les instants les pressions, en tenant compte des va-

riations de l'éclairage public et privé aux diverses heures de la soirée. On peut ainsi prendre les mesures nécessaires pour rendre l'éclairage aussi régulier que possible.

PROPRIÉTÉS DU GAZ D'ÉCLAIRAGE. — Le gaz d'éclairage ainsi fabriqué est un fluide incolore, invisible, mais d'une odeur très forte, très caractéristique, empruntée naturellement aux différents produits qui constituent le gaz ; cette odeur, d'ailleurs, est essentiellement utile pour déceler immédiatement les plus petites quantités de gaz qui se trouvent mélangées à l'air ambiant ; on a reconnu, en effet, que l'odeur du gaz se percevait très nettement dans un mélange de 1 de gaz pour 10.000 d'air. La densité du gaz varie avec la qualité de la houille qui a servi à sa production et avec le mode de fabrication ; en moyenne, on peut dire que cette densité est comprise entre 0,360 et 0,425, c'est-à-dire que un mètre cube de gaz pèse 465 à 549 grammes. Le gaz brûle avec une flamme très brillante dont le pouvoir éclairant varie avec la densité du gaz, car si le gaz est lourd, les carbures qui entrent dans sa composition sont très condensés et renferment, par suite, une grande quantité de particules de carbone sous un faible volume.

La composition moyenne d'un gaz fabriqué avec les houilles les plus généralement employées est la suivante, qui a été déterminée à l'usine expérimentale de la Villette :

Acide carbonique.	1,72
Oxyde de carbone.	8,21
Hydrogène.	50,10
Gaz des marais, azote.	35,03
Benzol.	1,06
Autres carbures.	3,88
	100,00

La densité de ce mélange est 0,399 et son pouvoir éclairant est de 103 litres pour 1 carcel, c'est-à-dire pour 42 grammes d'huile de colza brûlée à l'heure. La quantité de lumière produite est de 295 carcels-heures pour 100 kilogrammes de houille. La puissance calorifique du gaz est, d'après Péclet, de 10,269 calories pour 1 kilogramme ; nous verrons plus loin comment on a utilisé cette propriété pour le chauffage. Le gaz est irrespirable et délétère ; une bougie plongée dans une atmosphère exclusivement composée de gaz d'éclairage s'éteint immédiatement, et le séjour dans une pièce renfermant seulement 3 pour 100 de gaz d'éclairage mélangé à l'air est dangereux. D'autre part, le gaz d'éclairage forme, avec l'air, des mélanges plus ou moins explosifs, suivant les proportions relatives de gaz et d'air du mélange ; MM. Mallard et Le Chatelier ont trouvé que le mélange commençait à être explosif avec une proportion de 6 pour 100 de gaz et l'était encore à 28 pour 100[1]. Ces propriétés explosives du mé-

[1] Il est intéressant de comparer la puissance explosive du gaz d'éclairage à celle de certains explosifs

La puissance dynamique, ou potentiel des explosifs, s'exprime en *tonnes-mètres ;* elle est déterminée par le nombre de tonnes que la combustion de 1 kilogramme d'explosif peut élever à 1 mètre de hauteur, en supposant la quantité de chaleur dégagée par la combustion intégralement convertie en travail.

M. Sarrau a indiqué les chiffres suivants pour le potentiel de divers explosifs :

Chlorure d'azote.	148	tonnes-mètres.
Poudre de mine ordinaire. .	267	—
Poudre à canon.	347	—
Picrate de potasse.	366	—
Nitro-glycérine.	778	—

1 kilogramme de gaz, soit 2 mètres cubes, produisant en brûlant 10269 calories, a par suite un potentiel de $10269 \times 0{,}425 = 4361$ tonnes-mètres.

lange d'air et de gaz ont été utilisées industriellement, ainsi que nous l'examinerons plus loin, dans l'étude des moteurs à gaz.

Le gaz en présence de l'air s'enflamme au contact d'un corps en ignition, ou simplement porté à une température élevée, et suivant Frankland, au contact d'un fer suffisamment rouge pour que la teinte puisse en être perçue en plein jour. On a souvent remarqué qu'une étincelle provenant d'un foyer, ou même du choc d'un fer de pioche contre un caillou, suffisait pour produire la conflagration.

Canalisation. — Le gaz fabriqué dans une ou plusieurs usines, est dirigé sur la ville à éclairer au moyen de conduites de gros diamètre qui convergent le plus possible, vers le centre de gravité de la consommation. Ces conduites, dites de sortie, en nombre aussi considérable que les besoins du service l'exigent, communiquent toutes entre elles, formant ainsi un vaste réservoir où viennent puiser des conduites de moindre importance, qui se ramifient elles-mêmes à l'infini pour porter le gaz à une pression convenable sur tous les points à éclairer. Dans les villes où toutes les usines concourent à l'alimentation du réseau desservi, on a l'avantage considérable pour le cas où l'une quelconque d'entre elles viendrait, par accident, à suspendre sa fabrication, de pouvoir assurer instantanément le service de l'éclairage par le gaz provenant des autres.

On emploie le plus souvent pour les conduites souterraines dans l'intérieur des villes des tuyaux en tôle plombée recouverte de bitume, dits tuyaux Chameroy, du nom de leur inventeur, ou des tuyaux en fonte.

Ces derniers sont coulés d'une seule pièce ; les autres sont fabriqués au moyen de tôles douces enroulées après avoir été préalablement plombées ; leur épaisseur varie de 1 millimètre pour les petits diamètres, jusqu'à 4 et 5 millimètres pour les diamètres de $0^{m},700$ à 1 mètre. Ils se composent de plusieurs tronçons pouvant s'emboîter les uns dans les autres avec une pénétration de plusieurs centimètres. Les tôles sont rapprochées par des rivets suivant une génératrice du cylindre et plongées ensuite dans la soudure. On obtient de la sorte un tuyau cylindrique parfaitement étanche de 4 mètres de longueur, en tôle, qu'on enduit à l'intérieur et à l'extérieur d'une mince couche de plomb, pour le préserver des altérations. La surface extérieure est recouverte d'un revêtement de bitume très adhérent au métal, et on goudronne la surface intérieure.



Fig. 6. — Tuyau Chameroy.

Pour assembler ces divers tuyaux (fig. 6), de manière à former la conduite, on élargit légèrement l'extrémité d'un des tuyaux qui est garnie extérieurement d'une mince bague de plomb rendu plus dur par l'addition d'une petite quantité d'antimoine, et on fait pénétrer dans cette ouverture l'extrémité opposée de l'autre tuyau enveloppée d'une seconde bague semblable, dont le diamètre extérieur est égal au diamètre intérieur de la première, en entourant la partie qui emboîte dans l'autre d'une ficelle enduite d'un corps

gras. Le joint, ainsi formé, est très suffisamment étanche, car les secousses et les mouvements qui se produisent ont pour effet principalement de déformer la conduite qui n'est pas absolument rigide, et le joint subsiste sans s'ouvrir de côté, comme cela arrive quelquefois dans les tuyaux en fonte.

L'étanchéité parfaite de ces tuyaux a été notamment constatée à Paris, sur des conduites de plus de 4 kilomètres de longueur, de $0^m,70$ de diamètre et sous une pression qui peut atteindre jusqu'à 50 millimètres d'eau.

On a reproché à ces tuyaux en tôle une oxydation rapide, mais cette oxydation ne se produit d'une façon désavantageuse que dans des terrains exceptionnellement humides. Si les tuyaux ont été bitumés avec soin, l'oxydation est lente à se produire, quant à l'action destructive intérieure, elle est due souvent à une pose défectueuse, sans pente suffisante, et à de mauvaises dispositions des siphons de condensation.

On a grand soin d'ailleurs, pour éviter la déformation et l'ovalisation des conduites en tôle, de les poser à une certaine profondeur au-dessous du sol et qui est en moyenne de 1 mètre au-dessous du plan de la chaussée.

Nous avons mentionné quelques inconvénients des tuyaux en tôle qui tendraient à restreindre leur durée ; mais ils présentent le grand avantage de coûter moins cher que les tuyaux en fonte, leur pose est incomparablement plus simple et plus prompte ; tous les percements pour les raccordements de nouvelles conduites, ou pour de simples branchements, sont d'une exécution facile et rapide. Les coupures nécessitées par les répa-

rations peuvent se faire à la scie, les ouvertures nécessitées pour le placement des ballons obturateurs afin d'interrompre la circulation du gaz, sont très rapides. S'il y a rupture de conduite, on peut arrêter immédiatement le dégagement du gaz par un simple aplatissement.

Pour le raccordement des conduites entre elles, le défaut de rigidité de la tôle ne permettant pas de faire usage de pièces de raccord en fonte, on y a suppléé au moyen de pièces en plomb fixées à l'aide de colliers ; ces raccords en plomb répondent au même besoin que les croix et coudes en fonte, tout en présentant sur eux l'avantage de pouvoir être fabriqués immédiatement dans chaque cas, suivant les positions respectives des conduites à mettre en communication.

La nécessité de tenir le gaz en charge pendant le jour pour le chauffage industriel et domestique, a provoqué des modifications importantes dans les travaux de canalisation qui s'exécutent sur la voie publique, dans des conditions souvent difficiles. On a supprimé, autant que possible, l'emploi des soudures et par conséquent du feu dans ces travaux et on a pratiqué les ouvertures et percements de tuyaux sans provoquer de dégagements de gaz. La suppression de la soudure a été obtenue en appliquant des pièces faites, pour chaque cas, dans l'atelier, et l'emploi d'outils spéciaux a permis d'ouvrir et de percer la tôle, sans donner issue au gaz de la conduite, d'ailleurs isolée par l'introduction de part et d'autre de ballons obturateurs en caoutchouc.

Ces perfectionnements ont supprimé un travail insalubre, souvent dangereux, et contribué aux progrès du

chauffage domestique et industriel, qui avait besoin pour se développer d'une pression permanente et d'une fourniture de gaz assurée.

A Paris, les conduites en tôle bitumée sont généralement employées, on n'y compte guère que 10 pour 100 de conduites en fonte; à Bruxelles, à Londres et dans d'autres villes importantes, au contraire, les conduites en fonte sont presque exclusivement utilisées.

Les tuyaux destinés à former les conduites en fonte, ont ordinairement une longueur de 2^{m},50 à 3 mètres, et une épaisseur variable avec le diamètre. Les assemblages de ces tuyaux entre eux se font par emboîtement et aussi au moyen de brides, mais ce dernier mode est peu usité à cause de la trop grande rigidité de la conduite.

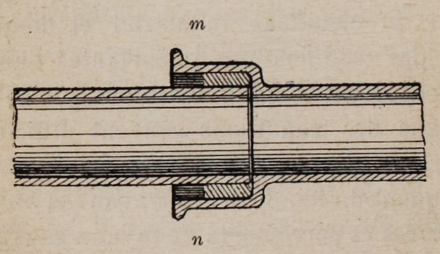


Fig. 7. — Joint en plomb du tuyau en fonte.

Pour faire un joint, on engage le tuyau à bout droit dans la tubulure *m n* (fig. 7), jusqu'à ce que le cordon vienne s'appuyer contre le talon de l'emboîtement, puis on introduit dans l'espace libre entre les deux tuyaux, de la corde imbibée de suif qu'on enfonce à coups de maillet et de matoir, jusqu'à ce qu'elle soit fortement tassée; on remplit ainsi près de la moitié de

l'emboîtement, au-dessus, dans l'autre moitié, on verse du plomb fondu qui vient remplir tout l'espace. On laisse refroidir le plomb, et on le comprime aussi fortement que possible dans tous les sens à l'aide d'un matoir. Ce joint, lorsqu'il est bien fait, a une grande durée, mais il présente l'inconvénient d'être très difficile à déboîter et de nécessiter quelquefois le bris de la conduite.

On a essayé depuis un certain nombre d'années de substituer au plomb le caoutchouc, qui donne une certaine élasticité au joint, et les systèmes Petit, Lavril, Somzée, etc., sont basés sur ce principe; mais on n'est pas encore bien fixé sur la durée du caoutchouc qui est plus ou moins altéré par le gaz ou par d'autres causes et dont la qualité est très variable. A Bruxelles cependant, et dans d'autres villes moins importantes, les joints en caoutchouc ont donné d'assez bons résultats.

Les tuyaux en fonte se placent dans le sol à une certaine profondeur de manière à les soustraire aux chocs provenant de la surface et aux grandes différences de température.

Quel que soit le genre de tuyaux employés pour la canalisation, et malgré les plus grands soins apportés à la confection des joints des tuyaux entre eux, il faut toujours compter sur des pertes de gaz, sur des fuites d'une certaine importance. A Paris, par exemple, où la canalisation est en tuyaux de tôle Chameroy, les fuites par la canalisation correspondent environ à 5 et 6 pour 100 du gaz qui circule dans les conduites, tandis qu'à Londres avec des tuyaux en fonte, les fuites varient de 5,87 à 6,35 pour 100. On a remarqué d'ailleurs que les fuites étaient d'autant moins importantes

que la masse du gaz circulant par mètre courant de conduite était plus considérable.

Afin d'éviter l'action du gaz provenant des fuites sur les plantations de la voie publique, on a établi des drainages ; on a ainsi enveloppé d'un drain concentrique tous les branchements pris sur la conduite maîtresse, en ménageant une issue au gaz, et, de plus, on a placé à la partie supérieure de la conduite une série de drains en terre cuite, communiquant de distance en distance avec l'air extérieur par des évents verticaux ; le gaz ne peut pas s'accumuler sous le sol et, au fur et à mesure qu'il se dégage, il se répand librement dans l'atmosphère.

Les diverses conduites qui amènent le gaz de l'usine jusqu'aux appareils du consommateur, doivent avoir naturellement des diamètres en rapport avec la consommation probable, et ces diamètres vont en diminuant à partir de l'usine, ou d'une certaine distance de l'usine, jusqu'aux divers points à éclairer. On a cependant été contraint, dans certains cas, pour amener le gaz avec une forte pression sur les points où la consommation est très importante, de conserver des conduites de très fort diamètre, jusqu'à des distances pouvant aller à cinq et six kilomètres de l'usine, sans établir aucune conduite moindre ou aucun embranchement sur les conduites maîtresses. Le but à atteindre est variable et dépend des conditions diverses de l'éclairage des villes, mais il faut toujours s'arranger de façon à pouvoir donner, en tout temps, au consommateur une pression plus que suffisante, quelle que soit la distance de ses becs ou de ses divers appareils à l'usine qui est appelée à le desservir.

Il est bien évident qu'il faut tenir grand compte, pour le

calcul des diamètres, de l'altitude de l'usine par rapport au reste de la ville, car, avec le gaz d'éclairage, pour tous les points qui sont plus élevés que l'usine, la pression dépasse celle de l'usine de 8 dixièmes de millimètre par mètre d'élévation en plus, et elle est inférieure, suivant les mêmes proportions, pour tous les points qui sont en contre-bas. En dehors de cette considération, il faut encore avoir égard à la perte de charge due au frottement du gaz dans les tuyaux. Des expériences précises, sur l'écoulement du gaz en longues conduites, ont été faites, il y a plusieurs années, par M. Arson, ingénieur de la *Compagnie Parisienne du Gaz*, sur des conduites de divers diamètres, et en particulier sur des conduites en fonte de 500 millimètres et sur des conduites en fer de diamètre moindre. Ces expériences ont démontré que la perte de charge variait avec le diamètre et avec la nature de la surface frottante, comme l'avait déjà affirmé d'Aubuisson, et ont servi de base à l'établissement d'une formule empirique et de tables pour des diamètres variant de 50 à 700 millimètres. Ces tables peuvent donc être utilisées dans la plupart des cas et permettent de déterminer le diamètre de la conduite, qui correspond à la perte de charge qu'on ne veut pas dépasser.

On a trouvé, comme nous le disions, que la nature du métal de la conduite donnait lieu à des résultats bien différents; ainsi, par exemple, la plupart des expériences ont été faites avec des tuyaux en fonte, mais on a aussi expérimenté sur des tuyaux en fer-blanc, et on a trouvé que la perte de charge dans le fer-blanc était les deux tiers seulement de la valeur qu'elle atteint dans la fonte; la tôle bitumée n'a pas été essayée, mais

il y a lieu de penser que le résultat serait approximativement le même qu'avec le fer-blanc.

Sur les conduites des rues, sont fixés les branchements des particuliers. Ces branchements sont le plus souvent en plomb jusqu'au robinet qui commande tout l'éclairage ; à partir de ce robinet, la canalisation s'exécute en plomb, en fer Gandillot et même en cuivre pour de petits diamètres.

La canalisation de la voie publique proprement dite prend dans certains grands centres des développements considérables ; ainsi, pour Paris, par exemple, la longueur des canalisations existant en 1890 atteint 1496 kilomètres, c'est-à-dire plus d'une fois et demie la distance de Paris à Marseille.

CHAPITRE III

RAPPORTS DES USINES A GAZ AVEC LES MUNICIPALITÉS

Nécessité d'emprunter la voie publique — Concessions à diverses usines dans la même ville, leurs inconvénients. — Exploitation par un concessionnaire unique. — Exploitation par les municipalités. — Traités, leurs principales dispositions. — Arrêtés préfectoraux et instruction pour l'emploi du gaz.

Nécessité d'emprunter la voie publique. — Lorsqu'il s'agit d'éclairer au gaz une ville ou une localité quelconque de moindre importance, après avoir rempli toutes les formalités requises par le décret du 9 février 1867 pour l'établissement d'une usine, il est indispensable d'emprunter la voie publique, pour y placer les tuyaux de canalisation destinés à conduire le gaz fabriqué dans l'usine, aux divers points où il doit être consommé; de là, la nécessité d'une entente préalable avec les municipalités ou même avec l'État, suivant les circonstances.

En effet, le sous-sol de la voie publique est en principe inaliénable ; mais il peut être concédé temporairement, à titre onéreux, et en vue d'un service d'intérêt public, à un ou plusieurs entrepreneurs qui se chargent d'effectuer ce service public dans certaines conditions déterminées par un cahier des charges.

D'autre part, on ne fonde pas une exploitation d'éclairage au gaz, comme un magasin de nouveautés, ou une fabrique de conserves alimentaires; dans une fabrique quelconque, on peut commencer sur une petite échelle, sauf à augmenter ensuite, selon que les besoins de la consommation deviendront plus ou moins exigeants. Dans une entreprise d'éclairage au gaz, au contraire, tout doit être coordonné et fait pour ainsi dire d'un seul jet. Cette industrie consiste à fabriquer du gaz et à le porter ensuite chez le consommateur; là, des exigences variées auxquelles il faut satisfaire se produisent : l'ingénieur, chargé de la construction, a besoin de données certaines, dont les principales sont : la quantité de gaz à fournir au consommateur et la distance à parcourir de l'usine au point le plus éloigné de la consommation. C'est sur ces données qu'il calcule le nombre de ses fours, les dimensions de ses épurateurs, de ses condenseurs, de ses gazomètres, etc., etc., et le diamètre des tuyaux qu'il doit poser.

Il faut donc que, pour limiter au strict nécessaire les dépenses d'établissement, le cahier des charges indique que l'éclairage aura lieu dans un périmètre déterminé. Il est bien évident d'ailleurs, qu'il y aura toujours lieu de tenir compte d'une augmentation de consommation dans le même périmètre, et qu'il faudra toujours construire l'usine et toutes ses annexes, en vue de la plus grande consommation journalière d'une année.

Ainsi donc, en premier lieu, le périmètre à éclairer doit être bien défini et déterminé à l'avance. En second lieu, il devra être convenu que ce périmètre sera desservi par un seul entrepreneur, ou plutôt que les conduites de plus d'une entreprise ne pourront être posées dans la

même rue. Cette seconde condition est d'une importance considérable au point de vue de la viabilité publique.

A l'origine de l'industrie du gaz en France, en 1822, une Société fut autorisée, par l'autorité préfectorale, à poser des conduites dans certaines rues de Paris et, dès cette époque, le préfet de la Seine avait appelé l'attention du directeur général des Ponts et Chaussées sur les inconvénients auxquels la réunion des conduites de plusieurs sociétés différentes pourrait donner lieu. Le directeur général répondit à ce sujet une lettre, en date du 26 janvier 1822, d'où nous extrayons ce qui suit :

« Quant aux inconvénients qui pourraient naître de la multiplicité des tuyaux de conduite, et que vous redoutez pour la circulation, comme les entrepreneurs ne peuvent pas placer de tuyaux sans votre autorisation, il vous sera facile de prévenir ces inconvénients en n'autorisant à en établir que dans les rues où il n'en existerait pas déjà. Il faut même s'attacher à prescrire, pour les conduites de gaz, des directions différentes pour chaque compagnie, afin d'éviter les contestations qui pourraient s'élever entre elles, si leurs conduites étaient établies dans les mêmes rues, etc., etc. »

Le préfet de la Seine, en transmettant au ministre de l'intérieur, le 10 février 1822, le dossier des demandes d'autorisation des sociétés, faisait observer lui-même que d'après les plans joints au dossier, on pouvait facilement reconnaître que leur projet commun embrassait à peu près le même espace, les mêmes rues et le même quartier, dont le Palais-Royal pouvait être considéré comme le centre, et continue ainsi :

« Or, le bon ordre de la voie publique ne semble pas

pouvoir permettre que *les conduites de plusieurs entreprises passent à la fois dans les mêmes rues*, autrement la circulation serait continuellement entravée par les travaux soit d'établissement, soit de réparations qui se multiplieraient en raison directe du nombre d'entreprises qui auraient eu l'autorisation d'ouvrir leurs tranchées. Déjà, l'établissement d'une seule conduite par rue exigera beaucoup de précautions, et l'on ne saurait être trop circonspect quand il s'agit d'admettre une cause de dégradation de plus dans le régime du pavé de Paris. »

Le préfet fit ensuite la proposition d'assigner aux sociétés des directions différentes et, le 4 mai 1822, le ministre de l'intérieur adopta ces propositions et donna au préfet les instructions qui portent :

« En marquant ces routes diverses, vous aurez à faire l'application du principe général que vous avez proposé vous-même, que j'ai adopté et que je confirme. *On ne doit point laisser courir ensemble, le long d'une même rue, des tuyaux de plus d'une entreprise.* »

A la suite de ces divers pourparlers, par arrêté en date du 30 septembre 1822, deux sociétés furent autorisées à poser des conduites dans un périmètre déterminé et spécial à chacune d'elles.

L'autorisation était donnée à peu près sans conditions onéreuses, mais à simple titre de tolérance, et révocable chaque année. Aucun prix n'était imposé aux compagnies pour la vente du gaz et aucune limite supérieure n'était fixée pour le dividende à distribuer aux actionnaires. Rien n'était convenu non plus au sujet de la qualité du gaz à fournir.

Il est vrai de dire que l'industrie du gaz était tout à fait à son début, que plusieurs tentatives avaient déjà été infructueuses et qu'il semblait nécessaire d'encourager une industrie naissante, qui paraissait à quelques-uns susceptible d'un grand développement. Mais dès que cette industrie eut acquis une situation normale, on reconnut que les autorisations données jusqu'alors, en vue de sauvegarder la libre circulation des rues et le bon entretien du pavé de Paris, constituaient pour les bénéficiaires un privilège. Exploitant seuls et sans conditions, ils exerçaient une sorte de monopole sans contrepoids.

Il faut bien admettre, toutefois, qu'il est certaines industries qui, par leur nature, doivent être en possession d'un monopole de fait et que l'éclairage par le gaz est précisément une de ces exceptions. On ne peut, en effet, permettre à tout venant de poser des tuyaux dans les rues de Paris ; le peu de largeur des rues et l'exigence des services publics s'y opposent. Le sous-sol de la voie publique, envahi par les conduites d'eau, les égouts, les installations pour l'électricité, etc., ne comporte pas plusieurs canalisations pour le gaz.

On sait quels inconvénients présente pour la viabilité une seule canalisation placée dans une rue ou dans un boulevard, s'il fallait en établir plusieurs, la circulation deviendrait tout à fait impossible et, de plus, lorsqu'une fuite se produirait, chaque compagnie rejetterait la faute sur les tuyaux de sa voisine et il n'y aurait plus personne de responsable. Certaines rues seraient d'ailleurs d'autant plus encombrées de conduites que la circulation y serait plus active, parce que l'éclairage y serait plus rémunérateur, et les quartiers où la consom-

mation serait faible seraient presque entièrement délaissés.

Afin de faire disparaître les inconvénients d'une exploitation privilégiée et de garantir en même temps l'intérêt public et celui des consommateurs, on exige des compagnies concessionnaires un droit de location, on dresse en quelque sorte un bail pour l'occupation du sous-sol ; on impose souvent une redevance annuelle très élevée en faveur de la ville [1], on fixe un tarif pour l'éclairage public et pour l'éclairage particulier, et on limite la durée de la concession.

Cette durée doit, dans tous les cas, être assez longue, et cela même dans l'intérêt d'un bon service public et particulier, car, ainsi que nous l'avons vu, une exploitation de gaz doit entreprendre, dès le début, des travaux d'établissement qui entraînent à des dépenses considérables. Le capital social est donc assez important et il est indispensable que la durée de la concession soit assez longue, pour permettre l'amortissement lent de ce capital. Si, en effet, la concession est de quelques années seulement [2], les charges d'amortissement sont énormes et comme, en définitive, elles font partie du

[1] A Paris, l'ensemble des taxes municipales et des redevances annuelles versées par la Compagnie parisienne du gaz dans les Caisses de la ville, se sont élevées pour l'année 1889 à fr. 20.940.798,89, ce qui correspond pour une vente de 290.399.810 mètres cubes, à fr. 0,072 par mètre cube de gaz vendu.

[2] Le capital d'établissement nécessaire pour fabriquer et livrer 1 mètre cube de gaz est d'environ 1 franc pour les affaires très importantes et de fr. 1,50 pour les affaires de peu d'importance.

L'amortissement de 1 franc à 5 pour 100.

En 10 ans.	fr. 0,13
En 20 ans.	fr. 0,08
En 50 ans.	fr 0,054

prix de revient du gaz, le prix de vente de ce produit et les consommateurs sont grevés d'autant.

Concessions a diverses sociétés dans la même ville, leurs inconvénients. — Pendants de longues années, l'éclairage de Paris (et nous verrons plus loin qu'il en fût de même à Londres) a été confié à plusieurs sociétés ou entreprises différentes. On reconnut que cette organisation présentait de sérieux inconvénients. Les compagnies n'appliquaient pas un tarif uniforme et il en résultait une inégalité d'autant plus fâcheuse qu'elle pesait surtout sur les habitants des territoires les moins peuplés ; les frais de canalisation et les pertes augmentant considérablement à mesure que diminue la densité de la population. D'autre part, il est de l'intérêt d'une bonne administration d'introduire l'unité dans tous les services, afin que les règlements qu'elle fait soient uniformément exécutés, et qu'à défaut d'exécution, la responsabilité soit concentrée, autant que possible, sur une seule et même personne. Il est également du plus haut intérêt pour les habitants que le gaz leur soit livré, sur chaque point, avec la même exactitude et le même degré de pureté et de pouvoir éclairant, et que l'administration n'ait affaire qu'à une seule compagnie pour rendre justice aux réclamations des particuliers.

Exploitation par un concessionnaire unique. — Pour les compagnies qui éclairaient Paris, les difficultés étaient grandes également, elles se faisaient une concurrence ruineuse sur certains points, et les frais généraux augmentaient en proportion du nombre des compagnies. Dès lors, la fusion s'imposait et elle fut réalisée par le traité du 23 juillet 1855, remplacé plus tard par celui du 7 janvier 1870 qui servirent de type à

beaucoup d'exploitations françaises et dont nous examinerons plus loin les clauses qui intéressent plus spécialement le consommateur.

A Londres, la première Société d'éclairage au gaz, la *Chartered Gaslight and Coke Company*, fut autorisée par acte du Parlement en 1810. Après plusieurs années d'exploitation plus ou moins florissantes, d'autres sociétés se formèrent et, malgré l'avis contraire d'une commission du Parlement, un grand nombre de compagnies furent autorisées ; certaines d'entre elles exploitaient le même réseau et se firent concurrence dans les mêmes rues, au grand dommage bien entendu, de la viabilité et de la circulation. Cette concurrence elle-même devint nuisible à toutes les compagnies et aux consommateurs, les frais d'établissement devenant plus élevés, les prix de vente s'en ressentaient, les compagnies finirent donc par s'entendre pour limiter entre elles, le district à éclairer séparément par chacune. Il s'établit ainsi un monopole de fait pour chaque district, et les consommateurs, désireux de ne pas être à la merci des compagnies auxquelles aucune condition de tarif n'était imposée, s'adressèrent au Parlement qui reconnut en 1860, comme on l'avait déjà reconnu en France, la nécessité de n'avoir qu'une seule compagnie autorisée à éclairer un périmètre déterminé [1].

Mais en retour du privilège, les compagnies furent tenues de livrer le gaz à un prix dont le maximum était fixé ; le pouvoir éclairant et la pureté du gaz étaient également définis très strictement et devaient être observés sous peine d'amendes très rigoureuses. Enfin on

[1] E. Cornuault, *Note sur les Sociétés gazières de Londres.*

fixait aussi un maximum pour le dividende à répartir aux actionnaires.

A la suite de diverses alternatives de hausse et de baisse dans le prix des charbons, le prix maximum de l'acte de 1860 fut trouvé trop élevé ; on le diminua en 1875 et en 1876, en autorisant les compagnies à donner un dividende supérieur à 10 pour 100, mais en abaissant dans une certaine proportion le prix du gaz, avec la faculté de relever ce même prix quand le dividende était inférieur à 10 pour 100. Voici d'ailleurs le texte exact de l'acte du Parlement qui concerne le dividende :

« Chaque diminution ou augmentation d'un penny, dans le prix de vente des mille pieds cubes[1] entraînera une augmentation ou une diminution d'un quart pour 100 dans le dividende distribué. »

Le Parlement a donc fixé une fois pour toutes, le prix de vente correspondant à un dividende de 10 pour 100 du capital social, en indiquant les conditions auxquelles ce prix pourrait être augmenté ou diminué.

En outre, les compagnies anglaises ont une concession sans limite de durée, ce qui rend les charges d'amortissement presque nulles, et elles n'ont ni taxes ni redevances à payer.

Les compagnies anglaises furent autorisées, en 1875, à fusionner entre elles comme elles le désiraient et immédiatement, il n'en resta plus que trois de quinze qu'elles étaient autrefois ; une seule compagnie, dont la raison sociale est « *Gaslight and Coke Company* », dessert les trois quarts de Londres.

L'avantage reste donc d'une façon bien nette en France et à l'étranger, aussi bien pour les villes que

[1] Ce qui correspond à un tiers de centime par mètre cube.

pour les sociétés concessionnaires à l'exploitation par une seule compagnie, dans une même ville.

Exploitation par les municipalités. — Dans certaines villes de l'étranger, comme à Bruxelles, La Haye, Manchester, etc., etc., la ville elle-même s'est chargée de la fabrication et de la vente du gaz, sous la forme d'une régie municipale. Nous ne connaissons que deux ou trois villes en France qui aient employé ce genre de régie ; ce n'est pas qu'elle soit impraticable, mais avec la rigidité de notre comptabilité administrative, il nous paraît bien difficile qu'une ville puisse effectuer rapidement et sans influer d'une façon trop apparente sur le marché de certains produits, les énormes transactions que nécessitent l'achat des houilles et la vente des sous-produits.

Qu'on songe, en effet, que l'éclairage d'une ville comme Paris, nécessite l'acquisition, chaque année, d'un million de tonnes de houille et la vente de plus de 600.000 tonnes de coke, goudron, etc., etc. Si le prix de vente du gaz était trop bas, la ville exploiterait à perte, et elle serait alors obligée de recouvrer par un impôt, sur l'universalité des habitants, les sommes dont elle aurait fait bénéficier les consommateurs de gaz qui seraient alors privilégiés, et si le prix de vente était trop élevé, elle réaliserait des bénéfices au détriment des consommateurs qui seraient alors frappés d'un impôt spécial.

En outre, une exploitation de cette nature qui est toujours forcément monopolisée, aussi bien dans les mains d'une ville que dans celles d'une compagnie, donne lieu à chaque instant à une foule de difficultés avec le public : fuites de gaz, explosions, défaut d'éclairage, acci-

dents sur la voie publique, faillites, paiements différés, contestations diverses, etc., etc. Dans la plupart des cas, lorsqu'il s'agit d'une compagnie, intervient une transaction rapide qui termine le débat, mais ces transactions ne pourraient pas avoir lieu de la même façon avec les agents du service municipal et avec les comptables de la ville. De plus, tous les litiges sérieux avec une ville doivent être portés devant les tribunaux administratifs où la procédure est assez longue.

En ce qui concerne la construction ou l'acquisition des usines et la pose de la canalisation, on pourra dire, il est vrai, que les villes empruntant à long terme, l'amortissement des frais d'établissement est presque nul, mais il n'en faut pas moins payer chaque année l'intérêt des emprunts et grever ainsi les générations futures de dépenses qui ne les concerneront peut-être en aucune façon, car personne ne peut assurer que les usines existantes aujourd'hui seront utilisées dans soixante ans à la fabrication des mêmes produits.

On reconnaîtra dès lors que les intérêts publics et privés des habitants d'une ville, s'accommoderont toujours mieux de l'exploitation de l'éclairage au gaz par l'industrie privée que de l'exploitation municipale.

Pour montrer d'une façon bien nette les avantages stipulés, en faveur de la Ville et des consommateurs, dans un important traité de concession, nous ne saurions mieux faire que d'indiquer ici les principaux articles relatifs aux taxes diverses, aux redevances, à l'éclairage public et à l'éclairage privé, du traité passé le 7 février 1870, entre la ville de Paris et la Compagnie parisienne du gaz.

Traité du 7 février 1870 entre la ville de Paris et la Compagnie Parisienne du gaz ; ses principales dispositions.

Concession, sa durée. — La concession faite à la *Compagnie Parisienne d'éclairage et de chauffage par le Gaz*, par les deux traités passés avec la ville de Paris, les 23 juillet 1855 et 25 janvier 1861, du droit exclusif de conserver et d'établir des tuyaux pour la conduite du gaz d'éclairage et de chauffage sous les voies publiques, conformément aux arrêtés de M. le Préfet de la Seine, continue de subsister aux clauses, charges et conditions ci-après :

Cette concession dont la durée est fixée par le traité du 23 juillet 1855 à cinquante années, qui ont commencé le 1er janvier 1856, finira le 31 décembre 1905.

La ville se réserve le droit de faire déplacer, et même enlever, aux frais des concessionnaires et sans aucune indemnité, les tuyaux de conduites, toutes les fois qu'elle jugera que l'intérêt public l'exige.

La Compagnie sera avertie de ces déplacements deux jours à l'avance, au moins, sauf les cas de force majeure qui ne permettraient pas d'observer ce délai.

Droit de location du sous-sol. — Le droit de location des parties du sous-sol de la voie publique, occupée par les tuyaux de la Compagnie, établi par l'arrêté de M. le Préfet de la Seine, en date du 30 octobre 1844, est fixé à titre d'abonnement, à la somme de 200.000 francs, pour chacune des cinquante années de la concession et cela indépendamment de la redevance de 2 centimes stipulée ci-après.

Partage des bénéfices avec la ville. — A dater du 1er janvier 1869, la ville de Paris a droit par anticipation de l'époque fixée par les traités ci-dessus rappelés, mais après les prélèvements dont il va être parlé, à la moitié des bénéfices réalisés par la Compagnie.

Le compte de ces bénéfices sera réglé conformément aux statuts de la Société.

Avant tout partage des bénéfices, il sera prélevé :

1o Les sommes nécessaires pour annuités d'amortissement des actions et obligations émises ou à émettre ;

2° La retenue actuellement fixée pour la réserve par les statuts;

3° Une somme pour dividende et intérêts des actions, fixée à 12.400.000 francs, jusqu'en 1887 inclusivement, et à 11.200.000 fr. du 1er janvier 1888 à la fin de la concession.

Dans le cas où les bénéfices d'une année seraient inférieurs au prélèvement attribué à la Compagnie, elle supporterait le déficit et ne pourrait en exiger le rappel sur les bénéfices des exercices suivants.

A la fin de la concession, et par l'effet même de l'action complète de l'amortissement des actions et obligations, le produit de l'actif mobilier et immobilier de la Compagnie et le montant de la réserve statutaire de 2.000.000 francs feront partie des bénéfices à partager.

Redevances. — La Compagnie versera à la Caisse municipale une redevance de deux centimes par mètre cube de gaz consommé dans Paris. Sauf les réductions qui interviendraient sur les taxes qui frappent les huiles employées à l'éclairage, cette redevance ne pourra subir de modification, quels que soient les changements apportés aux taxes d'octroi, et même dans le cas de suppression des octrois.

La Compagnie devra toujours conserver dans Paris des usines ayant une production suffisante pour alimenter l'éclairage public de la ville et le tiers de l'éclairage particulier.

Elle s'engage à fournir le gaz, pendant les cinquante années de la concession, dans toute l'étendue de la ville de Paris, tant pour l'éclairage public et particulier que pour le chauffage, aux conditions indiquées ci-après.

Dispositions communes a l'éclairage public et particulier. — L'éclairage sera fait par le gaz extrait de la houille. Il ne pourra être employé d'autre gaz sans le consentement formel et par écrit du Préfet de la Seine, après délibération du Conseil municipal.

Le gaz sera parfaitement épuré et son pouvoir éclairant devra être tel, que sous la pression de 2 à 3 millimètres d'eau, l'éclat d'une lampe Carcel brûlant 42 grammes d'huile de colza épurée à l'heure, puisse être obtenu avec une consommation de 105 litres de gaz à l'heure en moyenne.

Contrôle du pouvoir éclairant. — La Compagnie sera tenue de fournir les appareils et les locaux nécessaires à la constatation

du pouvoir éclairant et à la vérification de l'épuration, qui s'effectueront, chaque jour, de la manière suivante :

Les expérimentateurs prendront pour type de brûleur du gaz le bec Bengel, en porcelaine, à 30 trous, brûlant sous 2 à 3 millimètres d'eau de pression, avec un verre de $0^m,20$ de hauteur et de $0^m,049$ de diamètre en bas et $0^m,052$ en haut. Ils en règleront la flamme pour avoir une lumière d'une valeur égale à celle de la lampe Carcel brûlant 42 grammes d'huile à l'heure, sous les conditions spécifiées dans l'instruction de MM. Dumas et Regnault.

Les deux flammes ayant été maintenues bien exactement égales en intensité, pendant le temps nécessaire pour brûler 10 grammes d'huile, les expérimentateurs mesureront le gaz consommé, qui devra s'élever, en moyenne, à 25 litres, la consommation devant être, en moyenne, de 105 litres de gaz pour 42 grammes d'huile.

Les essais du pouvoir éclairant et de la bonne épuration du gaz se feront au moyen des appareils décrits et suivant le mode indiqué dans l'instruction de MM. Dumas et Regnault, en date du 12 décembre 1860. Chaque appareil devra être reçu par les ingénieurs de la ville de Paris, et il ne sera mis en service qu'après avoir été vérifié contradictoirement, par les agents de la ville et ceux de la Compagnie.

Les appareils d'essai seront placés dans les bureaux de section, ou a proximité desdits bureaux dans une pièce dont les agents de la Ville auront seuls la clé ; ceux de ces bureaux destinés aux essais, seront choisis, d'accord avec la Compagnie, vers la région moyenne du réseau alimenté par l'usine à laquelle correspondra le bureau. Il y aura autant de bureaux d'essais qu'il conviendra à l'administration municipale d'en établir, mais au moins un, par chaque usine à gaz, et deux pour les usines importantes.

Les essais seront effectués de huit à onze heures du soir. Les expérimentateurs feront trois essais à demi-heure d'intervalle, et ils en prendront la moyenne.

Chaque jour la feuille de service remise par le Directeur de la voie publique de la ville de Paris aux essayeurs, désignera les bureaux où les essais devront être effectués.

Le nombre d'essais devra être le même pour chaque usine. Le chef de section, ou l'un des ingénieurs de la Compagnie, est autorisé à assister à l'essai et à prendre note des résultats ; mais il n'in-

tervient, en rien, dans la conduite de l'opération, dont l'essayeur reste seul maître et responsable.

Si la consommation du gaz, qui, dans les essais, doit être égale à 25 litres, comme il est dit ci-dessus, dépassait 27^{lit},50, il en serait donné immédiatement connaissance à M. le Préfet de la Seine et à la Compagnie.

La moyenne des essais de chaque mois devra être égale à 25 litres en nombre rond.

Pour calculer cette moyenne, il sera attribué à chaque usine, au commencement de chaque année, un coefficient proportionnel à la fraction moyenne qui représente la part du service de l'usine dans l'éclairage public total.

Contrôle de l'épuration. — La bonne épuration du gaz sera constatée avec des bandes de papier blanc, non collé, préalablement préparées en les plongeant dans une dissolution d'acétate neutre de plomb dans l'eau distillée contenant 1 de sel pour 100 d'eau.

Ces bandes de papier resteront dans le courant de gaz pendant la durée de l'un des essais relatifs au pouvoir éclairant. Si elles ne brunissent pas, l'épuration est bonne. Cet essai se fait d'ailleurs conformément à l'instruction précitée de MM. Dumas et Regnault.

Le résultat des procès-verbaux de vérification du pouvoir éclairant du gaz, tant journalier que contradictoire, sera rendu public, quatre fois par an, par le mode que déterminera M. le Préfet de la Seine.

Pose de la canalisation. — Drainage des conduites. — Au commencement de chaque année, l'Administration remettra à la Compagnie un état d'indication, approximatif des canalisations à faire, pendant cette année, dans toute l'étendue de la ville ; mais dans cette période, celle-ci continuera les canalisations qui auraient été demandées antérieurement.

La Compagnie ne pourra être requise de commencer la canalisation que deux mois après la remise de cet état ; les réquisitions devront être faites au moins cinq jours d'avance, à moins de cas de force majeure ; auquel cas le délai sera fixé par l'administration.

Il ne pourra être exigé plus de 500 mètres de canalisation par jour.

L'Administration après avoir entendu la Socité, pourra prescrire soit dans la direction des conduites, soit dans la dimension des tuyaux, toutes les modifications successives que lui paraîtra exiger la bonne exécution du service.

La Compagnie sera tenue de poser deux conduites sous les trottoirs, dans toutes les voies à canaliser ayant 14 mètres de longueur et au-dessus, et dans celles qui recevront une chaussée en asphalte comprimé, quelle que soit leur largeur.

Afin de garantir des effets du gaz les arbres des promenades publiques, la Compagnie exécutera le drainage des conduites à établir sous les voies plantées et entourera les branchements de drains en terre cuite.

Le drainage des conduites consistera à garnir les deux côtés et le dessus de la conduite de pierres cassées, sur une épaisseur de $0^m,15$ à $0^m,30$, suivant le diamètre des conduites, et à couvrir cet empierrement d'une enveloppe s'opposant à l'infiltration des sables et des terres dans les interstices des pierres.

Le prix de réfection des chaussées et trottoirs à payer à la Ville pour les conduites et branchements de toute nature à établir ou à réparer, est fixé à 3 francs par mètre carré.

Pression a maintenir dans les conduites. — Pendant la durée de l'éclairage et pendant toute la durée du jour, dans les quartiers où l'état de la canalisation et le nombre des consommateurs le permettront, le gaz devra être tenu dans les conduites sous une pression de $0^m,020$, afin qu'il arrive aux becs en quantité suffisante, même dans le cas où il aurait à traverser un compteur.

Les vérifications auxquelles pourrait donner lieu l'exécution de cette prescription seront faites, à la diligence du Préfet, au moyen de manomètres qui seront posés à demeure sur tous les points indiqués par l'Administration et aux frais de la Société.

Approvisionnements de houille. — Pour assurer les services public et particulier dont elle est chargée, la Société aura, constamment, en magasin ou en cours de transport, un approvisionnement d'un mois en matières destinées à la fabrication du gaz.

Cet approvisionnement pourra être réduit à quinze jours, avec l'autorisation du Préfet de la Seine, sur la demande de la Compagnie.

Tous les mois l'effectif de l'approvisionnement sera déterminé par le Préfet de la Seine, en proportion de la quantité de gaz que la Société aura à fabriquer.

A cet effet, la société fournira, chaque mois, à l'Administration, les états de ses approvisionnements et des quantités de gaz qu'elle aura fabriquées dans le mois précédent.

Ces approvisionnements et les quantités de gaz fabriquées seront vérifiés toutes les fois que l'Administration l'exigera et par les moyens qu'elle jugera convenables.

ÉCLAIRAGE PUBLIC. — Cet éclairage comprend :

Toutes les voies publiques existantes et celles qui pourraient être créées, les bureaux de voitures, les urinoirs et les kiosques.

Les fournitures du gaz des illuminations au compte de la ville en totalité ou en partie :

Tous les établissements municipaux, les édifices consacrés au culte et généralement toutes les propriétés de la ville et les établissements municipaux dans l'enceinte de la ville qui seront désignés comme tels à la Compagnie, par le Préfet de la Seine, pendant la durée du présent traité.

La Compagnie ne pourra refuser d'éclairer, aux prix et conditions de l'éclairage public, les divers établissements énumérés ci-dessus, même lorsque les frais de cet éclairage seront supportés en tout ou en partie par des particuliers; seulement, l'éclairage sera réglé et payé à la Compagnie par la Ville, sauf à l'Administration municipale à en recouvrer le montant sur qui de droit.

Il est bien entendu que l'éclairage public ne comprend pas l'éclairage des logements et boutiques loués à des particuliers dans les propriétés de la ville.

L'éclairage public comprend en outre les établissements départementaux et les établissements militaires situés dans Paris, qui seront désignés comme tels à la Compagnie par le Préfet de la Seine.

CONSOMMATION DES BECS, PRIX DE L'ÉCLAIRAGE PUBLIC. — Il y aura trois séries de becs :

La première série consommant 100 litres à l'heure ;

La deuxième série consommant 140 litres à l'heure ;

La troisième série consommant 200 litres à l'heure.

Le prix est fixé par heure :

Pour les becs de la première série à 0 fr.015 ;

Pour les becs de la deuxième série à 0 fr. 021 ;

Pour les becs de la troisième série à 0 fr. 030 ;

Lorsque le gaz sera livré au compteur, il sera payé à raison de 0 fr. 15 le mètre cube.

L'Administration reste libre de donner aux ouvertures des becs

telle largeur qu'elle jugera nécessaire, sans toutefois qu'il en résulte une augmentation de consommation du gaz; les dimensions en largeur et en hauteur des flammes seront déterminées par le Préfet de la Seine, conformément aux expériences contradictoires entre les ingénieurs de la ville de Paris et ceux de la Compagnie.

Lorsque l'Administration voudra employer des becs d'une dimension supérieure au bec le plus fort ou intermédiaire entre les becs ci-dessus désignés, la société s'engage à les fournir à des prix fixes proportionnellement à ceux qui viennent d'être établis.

L'éclairage public est divisé en éclairage permanent et en éclairage variable.

L'éclairage permanent fonctionne du soir au matin, sans interruption.

L'éclairage variable est subordonné aux besoins des localités.

La nature de l'éclairage sera fixée par le Préfet de la Seine qui aura toujours le droit de la modifier.

Fixation des heures d'allumage et d'extinction des becs publics. — Les heures d'allumage et d'extinction des becs permanents seront déterminées par un tableau dressé, au commencement de chaque année, par le Préfet de la Seine et imprimé aux frais de l'Administration.

Les heures d'allumage et d'extinction des becs variables seront fixées par des décisions particulières du Préfet de la Seine.

L'allumage sera fait en quarante minutes au plus, c'est-à-dire qu'il pourra commencer vingt minutes avant l'heure du tableau, et qu'il devra être terminé, au plus tard, vingt minutes après cette heure.

L'extinction sera faite en vingt minutes, au plus, c'est-à-dire qu'elle pourra commencer dix minutes, au plus, avant l'heure du tableau et sera terminée dix minutes après cette heure.

Lorsqu'il surviendra des brouillards ou des événements imprévus, la durée de l'éclairage pourra recevoir telle extension que les circonstances rendront nécessaires.

La Société exécutera d'urgence tous les ordres qui lui seront donnés à cet égard par le Préfet de la Seine, et elle ne pourra exiger que le prix du gaz consommé par suite de la prolongation de l'éclairage ou de l'augmentation du nombre des becs.

Fournitures et entretien des candélabres et des lanternes. — Les lanternes ainsi que les candélabres et les consoles

qui doivent les supporter, seront fournis par l'Administration à la Société, qui les mettra en place et les fera peindre d'après les tons de couleur adoptés par le Préfet de la Seine.

La Société fournira et établira tous les tuyaux d'embranchements, tubes intérieurs, robinets, brûleurs et tous les accessoires qui constituent l'ensemble d'un appareil à gaz.

Tous les travaux exécutés et toutes les fournitures livrées par la Compagnie, en vertu du paragraphe ci-dessus, se feront à prix de règlement, sur les bases d'un bordereau de prix, arrêté chaque année, par le Préfet et accepté par la Compagnie.

La Société entretiendra, en bon état, tout le matériel qui sera établi par elle, et l'Administration lui payera pour toute indemnité 4 centimes par jour et par appareil du modèle ordinaire en place. Pour les appareils de nouveau modèle en fonte bronzée, le chiffre ci-dessus sera augmenté de 2 centimes 1/2, non compris l'entretien du cuivrage.

Eclairage particulier. — La Société sera tenue de fournir le gaz, à Paris, dans les localités où il existera des conduites, à tout consommateur qui aura contracté un abonnement de trois mois, au moins, et qui se sera, d'ailleurs, conformé aux dispositions des règlements concernant la pose des appareils.

Les polices, en vertu desquelles sont souscrits les abonnements, devront être conformes à un modèle approuvé par l'administration.

Les abonnements au bec et à l'heure pourront être faits pour tous les jours sans exception, ou en exceptant les dimanches et fêtes.

Aucun abonnement ne pourra être refusé, mais la Société sera en droit d'exiger que le paiement s'en fasse par mois et d'avance.

L'abonné prendra livraison du gaz au moyen d'un branchement sur la conduite principale. Ce branchement, les travaux et fournitures relatifs à l'appareil extérieur et intérieur, sont à la charge de l'abonné.

Le tuyau d'embranchement et le robinet extérieur destiné à mettre le gaz en communication avec les appareils intérieurs, seront fournis, posés et entretenus par la Compagnie, aux frais de l'abonné, aux prix fixés par la police d'abonnement.

Le gaz sera fourni, soit au compteur, soit au bec et à l'heure, à la volonté des abonnés.

Un modèle de chaque système de compteur, accepté par la

Compagnie et approuvé par l'Administration, sera déposé à la Préfecture de la Seine.

Les compteurs seront à la charge des abonnés, qui auront la faculté de les prendre parmi les systèmes acceptés et autorisés comme il est dit ci-dessus, sauf les droits des fabricants brevetés.

Ils ne pourront être mis en service qu'après avoir été vérifiés et poinçonnés par l'Administration.

Ils seront soumis quant à leur exactitude et à la régularité de leur marche à toutes les vérifications que l'Administration pourra prescrire, sans préjudice de celles que les abonnés ou la Société voudraient faire exécuter par les voies de droit.

La pose et le plombage des compteurs seront faits par la Compagnie de même que la fourniture et le scellement de la plate-forme aux prix fixés sur la police d'abonnement approuvée par l'Administration.

Les abonnés au compteur auront la libre disposition du gaz comme bon leur semblera, soit à l'intérieur soit à l'extérieur de leur domicile, sans que, dans le cas où le nombre de becs éclairés dépasserait celui indiqué sur le compteur, il puisse en résulter aucune action contre la Société, à raison de la faiblesse de l'éclairage.

Prix de vente du gaz. — Le prix du mètre cube de gaz, vendu au compteur, est fixé à fr. 0,30 pour les cinquante années de la concession.

La Compagnie aura le droit d'abaisser ce prix, en faveur d'une industrie déterminée, en accordant la même réduction à tous les industriels exerçant la même industrie.

Elle sera tenue de fournir en location des compteurs de son choix à tous ceux de ses abonnés qui lui en demanderont, et qui contracteront un abonnement d'une année, au prix indiqué sur la police d'abonnement approuvée par l'Administration.

Le prix de vente du gaz, livré à l'heure au moyen de becs cylindriques à double courant d'air dits d'Argant, seront débattus, de gré à gré; entre la Société et les abonnés.

La Société devra, pour tous les consommateurs qui le demanderont, convertir immédiatement les abonnements à l'heure en abonnements au compteur.

Pendant toute la durée de la concession, le prix de tout autre bec que celui qui est déterminé au paragraphe ci-dessus, ou d'un

éclairage qui aurait lieu hors des heures de service, sera débattu, de gré à gré entre la Société et les abonnés.

Il en sera de même pour les becs cylindriques percés de vingt trous qui seraient placés à l'extérieur.

Les abonnés ne pourront exiger d'éclairage, soit au compteur, soit au bec, que pendant le temps où les conduites de la Société seront en charge pour le service ordinaire ; les conditions des livraisons de gaz qui devraient avoir lieu, en dehors de ce temps, seront réglées, de gré à gré, entre la Société et les abonnés, sauf le cas prévu à l'article qui détermine la pression à tenir continuellement dans les conduites.

Chauffage. — En ce qui concerne l'application du gaz au chauffage, la Société se conformera à toutes les dispositions qui lui seront prescrites par l'Administration municipale, sans, toutefois, que celle-ci puisse lui imposer des prix autres que ceux qui sont fixés pour le gaz d'éclairage.

Reprise du matériel placé sous les voies publiques. — A l'expiration de la concession, la ville de Paris deviendra propriétaire, de plein droit, et entrera de suite en possession des tuyaux, robinets, siphons, regards, valves, et généralement de tout le matériel qui existera, alors, sous les voies publiques.

On voit, par l'ensemble des dispositions qui précèdent, avec quel soin minutieux l'Administration municipale avait cherché à sauvegarder les intérêts de la ville de Paris et ceux des consommateurs de gaz. En ce qui regarde le concessionnaire, son prix de vente est sans doute élevé, mais il est immuable, et il peut se produire telle circonstance particulière, comme une hausse considérable des charbons, jointe à une diminution importante de la consommation, qui rendrait l'exploitation de la Compagnie, sinon onéreuse, du moins fort peu avantageuse.

Le système imposé aux compagnies de Londres, avec son échelle mobile, nous semble donc préférable ; le capital social est convenablement rémunéré par le taux

de 10 pour 100 fixé comme base pour la répartition du dividende ; d'autre part, aucune porte n'est fermée au progrès, puisque s'il y a d'importants bénéfices à obtenir, les compagnies sont toujours incitées à en poursuivre la réalisation, par la part si minime qu'elle soit, qui leur en revient, en diminuant le prix de vente du gaz dans des proportions suffisantes.

L'exécution du traité précédent a donné lieu à une série d'arrêtés préfectoraux dont l'un renferme une instruction relative aux précautions à prendre pour se servir du gaz ; nous croyons utile de reproduire ici les parties de cette instruction qui intéressent tous les consommateurs de gaz.

Instructions relatives à l'Éclairage et au Chauffage par le Gaz ainsi qu'aux précautions à prendre pour son emploi.

Pour que l'emploi du gaz n'offre aucun inconvénient, il importe que les becs n'en laissent échapper aucune parcelle sans être brûlée.

On obtiendra ce résultat pour l'éclairage en maintenant la flamme à une hauteur modérée (8 centimètres au plus), et en la contenant dans une cheminée en verre de 20 centimètres de hauteur ; un régulateur de pression, permettant de régler automatiquement la dimension des flammes, rendra de réels services et diminuera la consommation.

Les lieux éclairés ou chauffés doivent être ventilés avec soin, même pendant l'interruption de la consommation, c'est-à-dire qu'il doit être pratiqué, dans chaque pièce, des ouvertures communiquant avec l'air extérieur, par lesquelles le gaz puisse s'échapper en cas de fuite ou de non-combustion.

Ces ouvertures, au nombre de deux, devront, autant que posssible, être placées l'une en face de l'autre, la première immédiatement au-dessous du plafond, et la seconde au niveau du plancher.

Sans cette précaution, le gaz pourrait s'accumuler dans les appartements et occasionner de graves accidents.

Les robinets doivent être graissés intérieurement de temps à autre, afin d'en faciliter le service et d'en éviter l'oxydation.

Pour l'allumage, il est essentiel d'ouvrir d'abord le robinet principal et de présenter la lumière successivement à l'orifice de chaque bec, au moment même de l'ouverture de son robinet, afin d'éviter tout écoulement de gaz non brûlé.

Pour l'extinction, il convient d'abord de fermer chacun des brûleurs, et ensuite le robinet principal intérieur, qu'il est indispensable d'avoir à l'entrée du gaz dans les appartements. En tenant ce robinet fermé dès qu'on ne fait plus usage du gaz, on est à l'abri de tout accident.

Dès qu'une odeur de gaz donne lieu de penser qu'il existe une fuite, on peut, dans beaucoup de cas, déterminer le point où elle se trouve, en étendant avec un linge ou un pinceau un peu d'eau de savon sur les tuyaux ; là où il y a fuite, il se forme une bulle et, pour empêcher l'écoulement du gaz, il suffit de boucher le trou avec un peu de cire molle. Une réparation plus sérieuse doit d'ailleurs être faite le plus tôt possible.

Dans tous les cas, il convient d'ouvrir les portes et les croisées, pour établir un courant d'air, et de fermer les robinets intérieur et extérieur , de plus, on doit aussitôt en donner avis au Directeur de la voie publique et des promenades, à l'appareilleur et à la Compagnie.

Le consommateur doit bien se garder de rechercher lui-même les fuites par le flambage, c'est-à-dire en approchant une flamme du lieu présumé de la fuite. Les fabricants d'appareils doivent également s'en abstenir.

Dans le cas où, soit par imprudence, soit accidentellement, une fuite de gaz aurait été enflammée, il conviendra, pour l'éteindre, de fermer les robinets de prise extérieurs.

Il arrive parfois que, par suite de contre-pentes dans les tuyaux de distribution, les condensations s'accumulent dans les points bas et interceptent momentanément le passage du gaz, dont l'écoulement devient intermittent ; les becs situés au delà de la portion engorgée s'éteignent ; puis, si le gaz, par l'effet d'une augmentation de pression, parvient à franchir cet obstacle, il s'échappe des becs sans brûler, et se répand dans les appartements, où il devient une cause de graves dangers.

Pour les prévenir, il importe d'établir à tous les points bas des moyens d'écoulement pour ces condensations.

Lorsqu'on exécute dans les rues des travaux d'égoûts, de pavage, de trottoirs ou de pose de conduites, les consommateurs au devant desquels ces travaux s'exécuteront feront bien de s'assurer que les branchements qui leur fournissent le gaz ne sont point endommagés ni déplacés par ces travaux, et, dans le cas contraire, d'en donner connaissance à la Compagnie d'éclairage et à l'Administration municipale.

CHAPITRE IV

PHOTOMÉTRIE

Pouvoir éclairant des sources de lumière. — Influence de la surface des foyers et de la couleur de la lumière sur la netteté de la vision. — Principales unités de lumière. — Carcel. — Bougie anglaise. — Bougie allemande. — Violle. — Bougie décimale. — Appareils photométriques de Foucault et de Bunsen. — Brûleurs étalons. — Pouvoir éclairant du gaz dans différentes capitales. — Pouvoir éclairant des foyers dans les différentes directions. — Intensité moyenne sphérique. — Éclat intrinsèque des foyers de lumière. — Éclairement. Sa mesure. — Photomètre de M. Mascart. — Conditions variables d'un bon éclairage. — Choix des foyers à employer. — Besoins croissants d'un éclairage intense.

Pouvoir éclairant des sources de lumière. — Influence de la surface des foyers et de la couleur de la lumière sur la netteté de la vision. — Lorsqu'on porte à une température suffisamment élevée les corps solides, ils acquièrent la propriété d'émettre de la lumière. Les surfaces des objets qui nous entourent réfléchissent cette lumière et deviennent sensibles à l'organe de la vue. Nous allons examiner dans ce chapitre le pouvoir éclairant des foyers de lumière, spécialement des brûleurs à gaz, et les procédés de mesure de l'intensité de l'éclairement des surfaces lumineuses.

Les traités de physique permettent d'étudier la nature

de la lumière, sa décomposition par le prisme, la variation de son intensité avec la distance qui sépare le corps éclairant du corps éclairé, et leur inclinaison respective. Les lois développées dans ces traités dérivent, au fond, de considérations purement géométriques ; elles ne permettent pas de déterminer les conditions que doit remplir un bon éclairage artificiel pour permettre à l'œil de distinguer nettement les contours des objets.

Les connaissances des propriétés physiques de la lumière ont donc besoin d'être complétées par des notions physiologiques sur la constitution de l'œil et sur les relations qui lient la qualité et l'intensité des radiations lumineuses avec l'énergie des sensations que nous éprouvons sous l'influence de ces radiations.

Newton a démontré le premier que la lumière blanche était composée d'un nombre infini de radiations simples de réfrangibilité différente qui se distinguent par leur couleur. Il est extrêmement rare de rencontrer dans la nature ces radiations isolées. Tous les foyers de lumière, comme tous les corps lumineux, émettent et renvoient des mélanges d'un certain nombre de ces radiations. L'œil perçoit ces mélanges sans pouvoir les analyser comme l'oreille le fait pour un mélange de sons.

Lorsqu'on veut étudier les sensations produites par les différentes radiations simples, il faut décomposer la lumière au moyen du spectroscope.

L'œil est essentiellement constitué par une membrane appelée *rétine*, véritable épanouissement du nerf optique. Sur la rétine viennent se produire les images des corps lumineux que donne un appareil dioptrique convergent, assez complexe appelé *cristallin*. Devant le

cristallin se trouve un écran annulaire opaque, l'*iris*, percé d'une ouverture centrale, la *pupille*. L'iris peut se contracter plus ou moins, de manière à faire varier le diamètre de la pupille depuis moins de 1 millimètre jusqu'à 9 millimètres. Il modère par suite, entre les limites de 1 à 100 la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil, en même temps qu'il arrête les rayons qui ne tombent pas sur la partie centrale du cristallin. Il corrige donc les aberrations de sphéricité du cristallin et contribue, par suite, à la netteté de la vision.

Le docteur Brown-Sequard a étudié l'action de la lumière sur les fibres musculaires de l'iris. Cette action se produit directement sans l'intermédiaire de la rétine. La contraction pupillaire est due à l'influence seule des *rayons jaunes*. Les rayons rouges, bleus et violets sont presque sans effet.

Les radiations jaunes paraissent donc exercer un rôle tout particulier dans la netteté de la vision. Les études photométriques des foyers de lumière devraient, par suite, porter tout particulièrement sur l'intensité de ces radiations avec d'autant plus de raison que, comme nous le verrons plus loin, la perception nette par la rétine des contours des surfaces, exige beaucoup moins de lumière rouge ou jaune que de lumière verte, bleue ou violette.

L'œil se déplace dans son orbite sous l'action de certains muscles qui, lorsqu'un objet attire notre attention dans l'espace, orientent le globe oculaire de manière à ce que l'image de cet objet se produise sur la partie la plus sensible de la rétine. Cela n'empêche pas la rétine de recevoir une foule d'excitations provenant de corps lumineux non situés dans la direction de

l'objet que l'on fixe. Les images de ces corps se produisent sur des parties moins sensibles de la rétine, mais ces images sont beaucoup plus brillantes que celles de l'objet que l'on regarde, elles peuvent empêcher la perception nette de cet objet.

Tout le monde sait que lorsque les foyers sont dans le champ visuel, ils empêchent de distinguer nettement les objets qu'ils sont destinés à éclairer. Ils sont d'autant plus nuisibles que l'image de ces foyers lumineux sur la rétine est plus brillante, ou, ce qui revient au même, que la *surface des foyers est plus petite* pour une intensité donnée.

Nous trouvons ici l'explication d'un fait qui est connu de tous les entrepreneurs d'éclairage. Quand on substitue à des foyers à grande surface (gaz, huile, bougie) des foyers donnant une lumière de même teinte, mais à surface moindre, comme des lampes à incandescence électrique, on obtient un éclairage inférieur, si l'on n'a pas le soin d'augmenter de 50 pour 100 environ l'intensité lumineuse totale des foyers.

On peut entourer les foyers trop brillants de globes diaphanes. Ces globes absorbent de 40 à 50 pour 100 de lumière, mais ils ne nuisent pas à la vision, puisque la proportion de lumière absorbée est à peu près égale à la quantité supplémentaire de lumière nécessitée pour corriger l'effet de la faible surface des foyers.

La couleur de la lumière a sur l'éclairage une influence beaucoup plus considérable que la surface des foyers. Pour expliquer cette influence, il faut avoir recours à certaines considérations qui ont été développées par le Dr Augustin Charpentier.

Les lois de l'optique permettent de comparer entre

elles deux lumières simples de même réfrangibilité ou deux lumières de composition élémentaire identique. La physique perd ses droits quand les lumières sont de teintes différentes, alors la physiologie doit intervenir.

Supposons un œil adapté à l'obscurité depuis vingt minutes et présentons-lui une surface que nous éclairerons avec une lumière simple, dont nous ferons croître l'intensité, en partant d'une intensité nulle.

La première sensation qu'éprouvera l'œil est une sensation incolore qui sera la même pour toutes les radiations de réfrangibilité différente. Il faut augmenter l'éclairement dans une certaine proportion pour obtenir la notion de couleur, et l'augmenter davantage pour donner la perception de la forme par exemple de points égaux régulièrement espacés.

On peut admettre que la quantité de lumière nécessaire pour produire la première sensation, la sensation incolore servira d'unité. On a donc une méthode qui permet de ramener à un étalon unique la quantité infinie d'étalons proposés par M. Violle [1].

M. Augustin Charpentier, professeur à la Faculté de médecine de Nancy [2], a déterminé les rapports qui existent pour certaines radiations :

1° Entre la quantité de lumière nécessaire pour produire la sensation chromatique et la quantité nécessaire pour la sensation incolore.

1 Sur la proposition de ce physicien, le Congrès international réuni à Paris, en 1881, a pris la résolution suivante :

« L'unité de chaque lumière simple est la quantité de lumière de la même espèce émise en direction normale, par un centimètre carré de surface de platine fondu à la température de solidification. »

2 A. Charpentier, *La Lumière et les couleurs*.

Ce rapport est égal à :

4 » pour le rouge extrême.
5,5 pour l'orangé.
9,6 pour le jaune.
19,6 pour le vert moyen.
62,5 pour le bleu franc.

2° Entre la quantité de lumière nécessaire pour produire la perception nette et la quantité nécessaire à la sensation chromatique.

Ce rapport est sensiblement constant et égal à 1,85.

En multipliant les chiffres du tableau ci-dessus par 1,85, on obtient les quantités de lumière nécessaires pour produire la perception nette (la quantité de lumière nécessaire à la sensation incolore étant prise pour unité).

Ces quantités sont les suivantes :

7,40 pour le rouge extrême.
9,34 pour l'orangé.
17,76 pour le jaune.
362,60 pour le vert moyen.
1150,25 pour le bleu franc,

Il faut donc *vingt fois plus* de lumière verte et *soixante fois plus* de lumière bleue que de lumière jaune pour permettre à l'œil de discerner la forme des objets extérieurs[1]. Ces chiffres démontrent la nécessité que nous avons indiquée plus haut de faire porter spécialement les études photométriques sur la mesure des radiations jaunes. Ils permettent d'expliquer pourquoi les lumières jaunes éclairent davantage et pourquoi

1 Cette influence de la réfrangibilité de la lumière sur la vision se manifeste dans les illuminations publiques. On distingue mieux la forme des objets à la lueur des feux de Bengale rouges qu'à celle des feux verts.

lorsqu'on remplace du gaz, de l'huile, de la bougie, de l'incandescence électrique, par des arcs voltaïques, des becs Clamond, Auer, etc., il est nécessaire de *tripler* ou de *quadrupler* l'intensité totale des foyers si l'on veut obtenir des effets analogues au point de vue de la vision [1].

Nous rencontrons ici une application d'une loi bien connue de physiologie générale, l'adaptation du système nerveux aux circonstances extérieures. Les fonctions de l'œil s'exercent surtout pendant le jour, il n'est pas étonnant que cet organe soit surtout sensible aux *radiations jaunes* qui sont les plus intenses du *spectre solaire*.

Principales unités de lumière. — Avant les récents développements de la lumière électrique, les foyers de lumière artificielle employés, lampes à huile, bougies, brûleurs à gaz émettaient des lumières de compositions presque identiques. Dans la comparaison de ces foyers entre eux, la question de couleur n'intervenait donc pas, et les méthodes photométriques enseignées par la physique ne présentaient dans l'application aucune difficulté.

Ces méthodes sont fondées sur la loi suivante :

[1] On a reconnu dans ces derniers temps l'importance de la couleur de la lumière au point de vue de l'éclairage.

M. Crova, à qui nous devons d'importantes études de photométrie spectroscopique a demandé au Congrès international d'électricité de 1889 qu'on définisse non seulement le pouvoir éclairant des lampes à incandescence, mais encore leur degré d'incandescence ou ce qui revient au même, leur teinte. Le Congrès, sur la proposition de ce physicien, a décidé que la teinte serait mesurée par le rapport des intensités de deux radiations de réfrangibilité déterminée.

Les longueurs d'onde de ces radiations sont 582 et 657.

La quantité de lumière reçue en un point par unité de surface varie en raison inverse du carré de la distance de ce point au foyer lumineux, et en raison directe du sinus de l'inclinaison du rayon lumineux sur la surface éclairée.

Dans tous les photomètres, on compare le foyer à étudier avec un autre foyer qui sert de type en éclairant également deux surfaces, par chacun de ces deux foyers. Pour éviter des mesures d'angle, on s'arrange généralement de manière à ce que les rayons lumineux soient normaux aux surfaces éclairées. L'intensité cherchée se déduit de la lecture de deux distances.

Les foyers étalons employés, varient suivant les pays, mais l'intensité de la radiation type est toujours l'intensité de la radiation horizontale.

Carcel. — En France, l'étalon de lumière en usage est une lampe Carcel, brûlant 42 grammes d'huile de colza épurée par heure. Les dimensions de cette lampe sont indiquées dans l'instruction de MM. Dumas et Regnault annexée au traité passé, en 1861, entre la Ville de Paris et la *Compagnie Parisienne du Gaz*. Cet étalon paraît dû à Peclet, qui en parle dans son *Traité d'éclairage* de 1836.

La lampe Carcel type est disposée sur une balance construite par Deleuil, pour permettre la mesure de la dépense d'huile. Cette dépense doit être voisine de 42 grammes. D'après les expériences d'Audouin et Bérard, l'intensité lumineuse n'est proportionnelle à la consommation d'huile que lorsque cette consommation est comprise entre 38 et 46 grammes à l'heure, et c'est sur cette proportionnalité que l'on s'appuie, pour cor-

riger par interpolation les résultats des essais photométriques.

L'instruction de MM. Dumas et Regnault donne les détails les plus précis sur la méthode que l'on doit suivre pour allumer la lampe, régler les hauteurs de la mèche et du verre, et indique comment on mesure la consommation d'huile.

L'expérience s'effectue en observant le nombre de minutes que la lampe met à brûler 10 grammes ; elle nécessite un certain temps, de 13 à 16 minutes ; c'est une infériorité sur les étalons dont il va être question qui permettent des essais instantanés, mais tout le monde s'accorde à reconnaître que la *carcel* française est supérieure pour sa précision, aux autres types de lumière.

Bougie anglaise. — En Angleterre, l'unité de lumière est la *sperm candle*, la bougie dite *spermaceti*, de six à la livre anglaise (453 grammes), brûlant à l'heure 120 grammes ou 7^{gr},776 de matière grasse (blanc de baleine additionné de paraffine). Lorsque la consommation de la bougie anglaise est normale, la flamme a 45 millimètres de hauteur.

Il est généralement admis que l'intensité lumineuse de la carcel française vaut 9,66 bougies anglaises. Leblanc, vérificateur du gaz de la Ville de Paris, a indiqué le chiffre un peu plus faible de 9,3.

La bougie anglaise sert encore généralement de type pour étalonner les lampes à incandescence électrique.

Bougie allemande. — La bougie anglaise est employée aussi pour les essais du pouvoir éclairant du gaz dans un certain nombre de villes d'Europe, notamment à Berlin. Ce fait tient à ce que les premiers déve-

loppements du gaz d'éclairage sur le continent européen sont dus à une Compagnie anglaise l'*Imperial Continental Gas Association*. Cependant, dans la plupart des villes allemandes, on fait usage d'une bougie de paraffine de six à la livre et de 20 millimètres de diamètre. La valeur éclairante de la bougie se règle d'après la hauteur de flamme : l'unité correspond à une hauteur de 50 millimètres. La consommation horaire est de $7^{gr},7$. La carcel française vaut 9,8 bougies allemandes.

Violle. — Au Congrès international de 1881, M. Violle a fait adopter, comme source de lumière, du platine en fusion. Le Congrès a décidé que l'unité pratique de lumière blanche était la quantité de lumière émise normalement par 1 centimètre carré de surface de platine fondu à la température de solidification.

La carcel est sensiblement égale à la moitié (0,481) du violle.

Bougie décimale. — Le Congrès international des électriciens de 1889 a voté l'adoption proposée par M. Picou, d'un sous-multiple de l'unité précédente. La bougie décimale est la vingtième partie du violle, et par suite sensiblement la dixième de la carcel.

Le platine est très coûteux et fort difficile à manier. Il ne peut servir dans les expériences fréquentes auxquelles donne lieu par exemple, la vérification du pouvoir éclairant du gaz. Il ne faut le considérer que comme un type absolu auquel on pourra, quand on le voudra, comparer les étalons secondaires bougies, carcels, etc., qui continueront à être employés dans les essais photométriques.

Appareils photométriques de Foucault et de

BUNSEN. — Tous les photomètres employés comportent deux surfaces contiguës que l'on éclaire également par la lumière type et par le foyer que l'on étudie.

L'appareil, généralement en usage en France, est le photomètre Bouguer perfectionné par Foucault (fig. 8).

Il se compose d'un écran translucide qui forme le fond d'une boîte cylindrique noircie intérieurement et ouverte à sa partie antérieure.

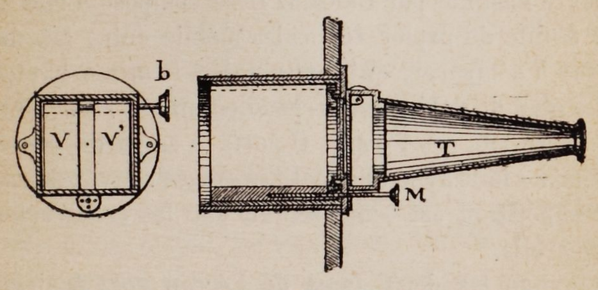


FIG. 8. — Photomètre de Foucault.

Une cloison verticale mobile dans cette boîte qu'elle divise en deux parties égales peut s'approcher ou s'éloigner de l'écran sous l'action du bouton M.

Les deux lumières à comparer sont placées de part et d'autres de la cloison qui projette sur l'écran deux ombres séparées par une bande brillante ou obscure suivant la position de la cloison par rapport à l'écran. En manœuvrant le bouton M on peut réduire cette bande à une ligne. Si les lumières sont à des distances telles que les éclairements qu'elles projettent sur l'écran soient égaux, cette ligne disparaîtra et l'écran sera uniformément éclairé.

On peut faire varier la dimension de l'écran au

moyen de deux petits volets mobiles V V′ manœuvrés par le bouton *b*.

On observe l'écran à l'extrémité d'un cône T qui place l'œil dans l'axe de l'appareil. Foucault a étudié la meilleure confection de l'écran translucide. Il s'est arrêté à une couche uniforme de poudre d'amidon contenue entre deux lames de verre transparent.

En Allemagne et en Angleterre, on se sert d'un photomètre imaginé par Bunsen. Il se compose d'une petite feuille de papier verticale, mobile entre les deux foyers à comparer, qui sont placés à la même hauteur. Le plan du papier est perpendiculaire à l'horizontale qui passe par ces foyers. Il porte à sa partie centrale une tache faite avec une matière grasse convenable dont la composition est tenue secrète par les constructeurs d'appareils.

Lorsque les deux faces de l'écran sont également éclairées, la tache disparaît à l'œil.

Le photomètre Foucault nous paraît devoir être préféré à l'appareil de Bunsen. M. A. Charpentier, a en effet démontré que l'approximation avec laquelle l'œil apprécie l'égalité de deux éclairements, est d'autant plus grande que l'éclairage est plus intense. Il faut donc faire les mesures photométriques sous une clarté suffisamment grande, sans qu'elle soit assez forte pour fatiguer la vue. Dans le photomètre Foucault, on place généralement la lumière type à une distance de l'écran translucide qui reste fixe, on ne fait varier que la distance du foyer que l'on étudie. On exécute donc les expériences photométriques sous un éclairement constant, le mieux approprié à l'œil *(c'est généralement l'éclairement donné par un carcel à 1 mètre)*.

Dans le photomètre Bunsen, au contraire, la distance du foyer type à l'écran est nécessairement variable, et les essais photométriques sont faits sous des clartés différentes quelquefois trop faibles pour que l'œil apprécie avec une approximation suffisante, l'égalité de deux éclairements.

POUVOIR ÉCLAIRANT DU GAZ DANS LES DIFFÉRENTES CAPITALES. — BRULEURS ÉTALONS. — Les usines à gaz sont partout tenues de fournir un gaz de pouvoir éclairant déterminé. Le gaz doit être de qualité telle, que brûlé dans un bec étalon, consommant un certain nombre de litres à l'heure, il produise une intensité lumineuse indiquée.

Les instructions relatives à la vérification du pouvoir éclairant du gaz doivent donc contenir la description précise du bec étalon. Le rendement lumineux des brûleurs est en effet, comme nous le verrons plus loin, excessivement variable : le pouvoir éclairant d'un même gaz peut donc paraître d'autant meilleur, que le bec type choisi se rapprochera le plus de l'étalon défini par la loi anglaise (*Acte dit de la Cité de Londres, article* 43) *le bec qui donne le maximum de rendement lumineux tout en étant suffisamment pratique pour les consommateurs.*

En France le bec type adopté est le bengel à 30 trous, décrit dans l'instruction de Dumas et Regnault.

Le gaz de Paris et de la plupart des villes de France, doit avoir un pouvoir éclairant tel que 105 litres donnent l'intensité d'une carcel [1].

1 Les essais se font à Paris de la manière suivante :

La carcel sur sa balance et le bengel type sont placés d'une façon fixe à 1 mètre de l'écran de Foucault. Pendant la durée d'une expé-

En Angleterre le bec type généralement employé actuellement pour le gaz ordinaire de houille est un brûleur d'Argand construit par Sugg. 5 pieds cubes ou 141 litres de *Common gas* de Londres brûlés dans ce bec, doivent donner l'intensité de 16 bougies.

Le pouvoir éclairant règlementaire n'est pas le même pour toutes les villes de la Grande-Bretagne. Le titre s'élève quand on se dirige vers le nord, c'est-à-dire quand on s'approche des mines de cannel d'Ecosse [1].

L'étalon généralement adopté en Allemagne est un bec d'Argand construit par la maison Elster de Berlin. Le panier qui admet l'air dans ce bec a été établi de manière à régler séparément le courant d'air intérieur et le courant d'air extérieur. Ce bec a été étudié évidemment pour avoir le meilleur rendement lumineux possible, et de manière à donner au gaz un pouvoir éclairant, apparent qu'il n'a pas.

Il est assez piquant de voir la maison Elster vendre ce bec étalon, sous le nom de bec Argand de Dumas. Les usines allemandes administrées pour la plupart directement par les municipalités, bénéficient sans doute de la confusion qui peut s'établir dans l'esprit des consommateurs, en laissant supposer que le bec étalon, qui permet de fournir un gaz inférieur à celui de Paris, a quelque rapport avec le brûleur type prescrit dans

rience on règle la dépense du brûleur en agissant sur un robinet très sensible de manière à ce que l'écran soit uniformément éclairé.

L'expérience dure le temps que la carcel met à consommer 10 grammes. La dépense du bengel pendant ce temps mesure le pouvoir éclairant du gaz.

[1] Le bec étalon employé à Londres pour le gaz de cannel est un bec Manchester.

l'instruction que Dumas a rédigée pour Paris en collaboration avec Regnault.

Le gaz de Berlin doit avoir un pouvoir éclairant tel, que 150 litres de gaz donnent l'intensité de 16 bougies anglaises.

Il est intéressant de comparer entre eux les différents becs étalons, en leur faisant consommer le même gaz, par exemple le gaz règlementaire de Paris.

L'étalon de Londres donne pour 141 litres de dépense un pouvoir de 1,567 carcel, ou (en admettant le chiffre de 9,66 pour le rapport des intensités de la carcel et de la bougie anglaise) 15,14 bougies anglaises.

L'étalon de Berlin donne pour 150 litres de dépense un pouvoir éclairant de 1,764 carcel ou 17,04 bougies anglaises.

Le gaz réglementaire de Paris est donc de 6 pour 100 inférieur au gaz de Londres, et de 6 pour 100 supérieur au gaz de Berlin.

Dans les essais de vérification du gaz à Paris, on mesure au compteur avec des soins particuliers, la consommation du bengel, mais on ne fait pas, comme à Londres, des corrections pour ramener le volume indiqué par le compteur à une pression et à une température constante. La méthode française est la plus équitable ; le gaz en effet est vendu au mètre cube à un prix déterminé et pour ce prix, les consommateurs doivent pouvoir obtenir une certaine quantité de lumière. Les volumes de gaz facturés ne subissent aucune correction du fait de la pression atmosphérique ou de la température ambiante. Il appartient aux Compagnies de gaz, de corriger par des additions de houilles éclairantes, ou de cannel les effets d'une faible pression ou d'une tem-

pérature élevée qui sont du reste une cause d'augmentation de rendement en gaz par tonne de houille distillée.

Pouvoir éclairant du gaz dans les différentes directions. — Intensité moyenne sphérique. — Les photomètres décrits ci-dessus, permettent de déterminer l'intensité des radiations horizontales émises par les différents brûleurs à gaz. Dans ces essais, nous conseillons de prendre pour lumière type un bec Bengel, consommant environ 105 litres, et non une lampe Carcel.

L'emploi d'une lampe Carcel nécessiterait en effet une détermination préliminaire du pouvoir éclairant du gaz. Comme on peut admettre qu'entre certaines limites l'intensité lumineuse des brûleurs est, à consommation égale, proportionnelle au pouvoir éclairant [1] du gaz, on voit que si l'on prend pour type un Bengel, la variation du titre du gaz affectera dans une même proportion les intensités du bec à essayer et du bec étalon. Le rapport entre les intensités de ces deux brûleurs est donc indépendant du titre du gaz.

L'adoption du bengel comme lumière type dispense par suite, de toute correction relative à la qualité du gaz.

Les foyers de lumière envoient des radiations dans toutes les directions, l'intensité de ces radiations varie en général avec leur inclinaison sur l'horizontale.

Si on suppose une sphère de rayon égal à l'unité (1 mètre par exemple) ayant pour centre le foyer lumineux, l'éclairement projeté par le foyer sur la sphère ne sera

[1] Cette proportionnalité n'est vraie que pour les variations peu importantes du titre du gaz que l'on rencontre en pratique dans une même ville.

pas uniforme. Il pourra s'exprimer pour chaque élément de sphère par le produit de l'intensité (exprimée en carcels) de la radiation qui frappe l'élément, par la surface de l'élément (le rayon de la sphère étant 1 et la surface de l'élément de sphère étant normale à la radiation).

L'éclairement total de la sphère, égal à la somme des éclairements de tous les éléments, peut être considéré comme la quantité de lumière émise en totalité par le foyer. En divisant cet éclairement total par la surface de la sphère 4π ou 12,566, on obtient l'intensité moyenne de toutes les radiations, moyenne qui diffère souvent d'une façon notable de l'intensité horizontale.

Jusqu'à ces temps derniers, on se bornait à mesurer le pouvoir éclairant horizontal des brûleurs à gaz. Cette manière d'opérer n'avait aucun inconvénient, tant qu'on avait affaire à des becs d'Argand ou à des becs à air libre. La répartition de l'éclairement sur la sphère du rayon 1 est en effet sensiblement la même pour tous ces brûleurs, la quantité totale de lumière émise est donc proportionnelle à l'intensité de la radiation horizontale.

Mais depuis que certains inventeurs Wenham, Sugg, Danichewski, etc.,ont renversé le brûleur à récupération de Frédéric Siemens, et ont construit des becs qui laissent dans l'ombre, au-dessus d'eux, tout un cône plus ou moins ouvert, la mesure de l'intensité des radiations obliques s'est imposée, et l'on a imaginé un certain nombre de photomètres permettant cette étude.

Nous donnerons, dans le prochain chapitre, les valeurs d'intensité des radiations obliques pour différents brûleurs, mais nous pouvons déjà faire remarquer que les propagateurs des becs à récupération ont, en

général, exagéré le rendement lumineux total de leurs appareils, en n'indiquant pas le chiffre de l'intensité sphérique moyenne, mais le chiffre de l'intensité maxima.

L'erreur commise est d'autant plus forte que pour un grand nombre de ces brûleurs, la radiation dont on a mesuré le pouvoir éclairant est la *radiation verticale*. Cette radiation n'éclaire qu'un point sur la sphère dont nous avons parlé ci-dessus. Elle a donc, dans l'éclairement total de cette sphère un effet presque nul, tandis que les radiations horizontales, qui éclairent un grand cercle, ont une importance considérable.

Les chiffres d'économie annoncés pour la plupart des brûleurs à air chaud doivent donc être considérablement réduits. On avait parlé, pour les becs de 200 litres et au-dessous, d'une réduction de 60 pour 100 sur le gaz consommé, par rapport aux anciens becs. Les essais faits par le jury de la classe 27, à l'Exposition universelle de 1889, ont montré, par la détermination de l'intensité sphérique moyenne, qu'il fallait ramener à 25 pour 100 l'importance de cette économie pour les meilleurs brûleurs, et le jury n'aurait certainement constaté aucune économie sensible pour les faibles becs à récupération, si, au lieu de se servir du Bengel, il avait pris pour type un brûleur à verre ordinaire, supérieur de 25 pour 100 au bengel, par exemple le bec étalon d'Elster.

Presque tous les brûleurs à gaz, comme du reste presque tous les foyers de lumière, sont symétriques par rapport à un axe vertical. Ils constituent une figure de révolution autour de cet axe. Les phénomènes observés se reproduisent identiquement dans tous les plans verticaux passant par l'axe, il suffit donc de construire la courbe des intensités dans chacun de ces plans.

La radiation qui sert de type est toujours la radiation horizontale d'une carcel ou d'un bengel. On ramène à l'horizontalité la radiation oblique que l'on étudie par une réflexion sur un miroir convenablement orienté.

Dans l'appareil employé par le jury de la classe 27 (disposition due à MM. Ayrton et Perry), la réflexion se faisait toujours sous un angle de 45 degrés et l'on avait déterminé, par une expérience préliminaire, la quantité de lumière absorbée par une réflexion sous cette incidence.

ÉTAT INTRINSÈQUE DES FOYERS DE LUMIÈRE. — Nous avons vu, dans les considérations physiologiques sur la vision, que la faible surface des foyers lumineux ou, ce qui revient au même, le fort éclat intrinsèque de ces foyers, avait une influence fâcheuse sur la netteté de la perception. Il est intéressant de déterminer cet éclat intrinsèque.

Un centimètre carré de flamme donne, d'après M. Monnier :

Dans un	bec bougie à gaz.	0,06	de bougie.
—	bec d'Argand.	0,30	—
—	brûleur Siemens.	0,60	—
—	lampe à incandescence électrique	30,00	—
—	lampe à arc voltaïque. . .	480,00	—

L'éclat du soleil est d'environ cinquante fois celui de l'arc voltaïque.

ÉCLAIREMENT. — SA MESURE. — Les photomètres que nous avons décrits permettent de mesurer le pouvoir éclairant des sources de lumière ; il est intéressant de pouvoir étudier directement l'intensité de l'éclairement reçu par les objets extérieurs, la clarté par exemple, à

laquelle est soumise une feuille de papier pour la lecture.

Cet éclairement, en effet, dépend non seulement du nombre, de la répartition et de la nature des foyers lumineux, mais encore d'un certain nombre de facteurs, parmi lesquels il faut compter en première ligne, le pouvoir réfléchissant des murs et des plafonds.

Les premiers photomètres d'éclairement ont été imaginés pour déterminer la durée de la pose en photographie. Ils ont été basés sur le principe suivant : si l'on veut lire des caractères d'imprimerie, la clarté nécessaire doit être d'autant plus intense que les caractères sont plus petits.

Schütte a construit sur cette donnée une sorte de petite lunette photométrique dans laquelle on atténue, dans une proportion connue, la clarté qu'on veut mesurer, en interposant un nombre suffisant de papiers translucides. L'éclairement est mesuré par le nombre maximum de feuilles que l'on peut interposer, tout en permettant la lecture de chiffres de grandeur déterminée.

Ces appareils ne nécessitent pas l'emploi d'une lumière type, mais il faut reconnaître qu'ils n'ont pas la précision du photomètre imaginé récemment par Weber, dans lequel la mesure d'éclairement d'une surface est effectuée en la comparant avec une autre surface éclairée par un foyer étalon.

Le photomètre Weber nécessite deux expériences pour la détermination de la valeur d'une clarté. On compare successivement, l'éclairement que l'on veut mesurer, et l'éclairement qui sert de type (par exemple un papier illuminé normalement par une carcel dis-

tante d'un mètre), à l'éclairement produit sur un petit disque en opale, par un foyer auxiliaire qui doit rester constant pendant les deux visées. On en déduit, en carcels-mètres, la clarté que l'on cherche.

PHOTOMÈTRE DE M. MASCART. — M. Mascart a fait construire par M. Pellin, pour l'étude de la répartition de l'éclairage de l'Opéra, un photomètre qui ne nécessite qu'une seule visée, mais dans lequel on a besoin de connaître l'intensité du foyer qui produit la clarté type. M. Mascart se sert d'une lampe modérateur à huile de colza, qui donne pendant quelques heures une lumière aussi constante que la carcel.

L'appareil de M. Mascart est représenté dans la figure 9.

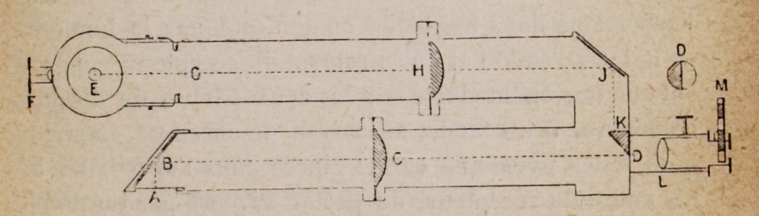


FIG. 9. — Photomètre de M. Mascart.

Les deux portions d'un écran D sont respectivement éclairées par une fraction de la lumière générale et de la lumière étalon et l'on fait varier ces deux fractions, de manière à ce que l'écran reçoive un éclat uniforme. La lampe étalon E illumine un verre dépoli, dont l'image, par une lentille H, vient se former après deux réflexions à 45 degrés en J et K, sur la moitié d'un disque dépoli D, appelé verre d'épreuve.

La lumière générale éclaire un écran translucide A,

que l'on appelle récepteur, dont les rayons émis dans une direction normale vont, après s'être réfléchis en B, sous un angle de 45 degrés, produire en passant par une lentille C une image sur l'autre moitié du disque d'épreuve.

Les lentilles H et C, qui servent à la production de ces images, sont munies l'une et l'autre d'une ouverture à volets rectangulaires, de façon que l'on peut diminuer à volonté l'éclat de chacune des moitiés du disque d'épreuve.

L'écran récepteur A peut tourner avec son miroir B, de manière à permettre la mesure de l'éclairement dans tous les azimuts.

Des graduations servent à déterminer la dimension de l'ouverture des volets et, par suite, indiquent les proportions dans lesquelles on doit atténuer la lumière de la lampe étalon et l'éclairement du récepteur A, pour obtenir une égale clarté sur les deux parties du disque d'épreuve. Il est facile, au moyen de mesures empiriques faites avec une carcel placée dans l'obscurité, à un mètre du récepteur, de porter sur ces graduations des chiffres qui donnent directement l'éclairement en carcels-mètres.

Le verre d'épreuve est observé au moyen d'une loupe L, devant laquelle on peut disposer des verres de différentes couleurs placés sur un disque M.

Il serait à désirer que toutes les mesures d'éclairement fussent faites en interposant des verres jaunes ou rouges[1]. Nous avons vu en effet, dans le commencement

[1] Dans certains cas assez rares on a besoin d'un éclairage permettant de distinguer les couleurs. On doit alors se préoccuper non seulement de l'intensité mais de la nature de la lumière émise par les

de ce chapitre, que les radiations peu réfrangibles avaient une influence prépondérante dans la perception pour l'œil de la forme des objets extérieurs.

Le photomètre de M. Mascart permet de déterminer les intensités d'éclairage satisfaisant à certains programmes déterminés, et se prêtant par exemple, à l'exécution des ouvrages de précision qui nécessitent des clartés plus fortes que les travaux grossiers. Les indications de cet appareil doivent être complétées, car nous avons vu que la surface des sources lumineuses et leur position par rapport à l'œil étaient des facteurs importants dans un éclairage artificiel.

Le photomètre de M. Mascart donne en tout cas, de très utiles indications sur la répartition de la clarté.

Conditions variables d'un bon éclairage. — Choix des foyers a employer. — Il faut, autant que possible, écarter les foyers du champ visuel[1]. Lavoisier, dans son mémoire sur la manière d'éclairer les salles de spectacle (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, année 1781), s'est étendu sur cette nécessité. Il propose de mettre les lampes à huile en dehors de la salle, à la partie supérieure, et de renvoyer la lumière au moyen de réverbères elliptiques. Il cite l'exemple de Servandoni, célèbre dans l'art des décorations théâtrales, qui faisait remonter les lustres dans la salle de spectacle des Tuileries, quand on levait la toile.

foyers. Il faut employer des sources de lumière blanche des becs Clamond Auer ou arcs voltaïques.

[1] Le champ visuel est un cône qui a l'œil pour sommet et dont la génératrice fait avec la ligne de fixation un angle variable (entre 50° et 95°). D'après des mesures exécutées par M. Landolt, sur son œil lorsque la tête est droite, l'angle de la génératrice supérieure avec la ligne de fixation est de 82°.

Dans certains cas, les travaux qu'il s'agit d'éclairer sont exécutés par des personnes qui ne changent pas de place. Ainsi, dans les écoles, dans les bureaux, les foyers de lumière artificielle doivent permettre la lecture ou l'écriture sur des tables fixes. La surface de ces tables doit recevoir une clarté beaucoup plus intense que les surfaces voisines. L'emploi des becs Wenham, Cromartie, Danichewski qui donne l'intensité maxima pour la radiation verticale, paraît tout indiqué.

Dans d'autres cas, il faut éclairer des espaces où les personnes se meuvent constamment et, où on a besoin d'un éclairage moins intense, mais uniformément réparti.

Cette uniformité a une extrême importance. En effet, l'œil s'adapte à l'éclairage ambiant. Tout le monde sait que si l'on passe brusquement du grand jour à une obscurité relative, on ne distingue rien tout d'abord et qu'au bout d'un certain temps seulement, la sensibilité de l'œil augmente et l'on perçoit des détails qui échappaient au premier moment. Un phénomène analogue se passe lorsqu'on sort de l'obscurité pour entrer dans un endroit vivement éclairé. L'éblouissement nous empêche de voir les objets que nous pouvons ensuite examiner sans fatigue.

Quand on se meut dans un espace où les foyers de lumière ne distribuent pas un éclairage uniforme, l'œil reçoit en passant dans les endroits fortement éclairés une adaptation qui empêche la perception nette des objets soumis à un éclairement plus faible. L'excès de lumière en certains points est nuisible ; dans les rues, les salles de fête, les halles et manutentions de marchandises, il fait paraître dans l'ombre des objets que

l'on distinguerait très bien s'ils n'étaient pas entourés de surfaces plus éclairées. Il convient, dans certains cas, d'atténuer cet excès de clarté, même en rendant inutile une partie de la lumière émise par les foyers.

L'uniformité d'éclairement peut être obtenue de différentes façons.

Lavoisier, dans son mémoire de 1766, sur les différents moyens qu'on peut employer pour éclairer une grande ville, recommande de multiplier le nombre de foyers en diminuant l'intensité de chacun d'eux, et de renvoyer, au moyen de réflecteurs ou réverbères convenablement étudiés, les radiations supérieures sur les parties du sol qui reçoivent le moins de lumière directe des foyers.

L'uniformité d'éclairement peut être également obtenue par l'emploi d'un petit nombre de foyers intenses, mais il faut que ces foyers soient tels, que la variation de l'intensité des radiations suivant leur inclinaison, corrige dans une certaine mesure, la diminution de l'éclairement due à la distance qui sépare le point à éclairer du foyer de la lumière.

Si l'on veut éclairer uniformément une rue ou une place publique, il ne faut pas songer à la multiplication des lanternes recommandées par Lavoisier. Les candélabres entravent la circulation. Il faut employer des brûleurs dans lesquels l'intensité décroît très rapidement avec l'inclinaison de la radiation, de manière à ce que les points du sol très éloignés des lanternes reçoivent les radiations les plus intenses. Nous verrons, dans le prochain chapitre, que la répartition de l'éclairement du bec dit *Quatre-Septembre* est excellente pour réaliser, sur une voie publique, un éclairage uniforme.

Besoins croissants d'un éclairage intense. — Nous avons peu de renseignements historiques sur la valeur des éclairages artificiels employés dans les temps passés, mais certains documents prouvent que l'on réclame, surtout depuis les dernières années, des clartés de plus en plus intenses. M. Mascart cite trois fêtes données en 1745, 1873 et 1878, dans la salle des Glaces du palais de Versailles[1]. Le nombre total des bougies employées a été successivement de 1800, 4000 et 8000.

Ce besoin croissant d'éclairement se fait partout sentir, non seulement dans les salles de fêtes, mais encore dans les rues où la circulation se fait avec plus de sécurité, dans l'industrie où le prix de la main-d'œuvre nocturne a diminué considérablement, quand on s'est décidé à ne plus faire d'économie de lumière[2].

Cette marche ascendante est-elle destinée à s'arrêter. M. Mascart ne voit d'autres limites, pour les salons de fêtes et les salles de spectacles, que la clarté d'un beau jour, et pour les effets de scène, que l'éclat des rayons solaires.

[1] Cette salle a 720 mètres de surface et un cube de 9360 mètres.

[2] Les chiffres suivants sont donnés dans une note de M. A. Sartiaux parue en 1878, dans la *Revue des chemins de fer*.

Dans une halle à marchandises de la gare de la Chapelle, chaque homme manutentionne pendant le jour, par heure environ 850 kilogrammes.

Avant 1877, avec un faible éclairage ce chiffre descendait la nuit à 530 kilogrammes. La main-d'œuvre nocturne était de 37 pour 100 plus onéreuse que la main-d'œuvre de jour.

En 1877, on s'est décidé à éclairer la halle d'une façon intense. La quantité horaire de marchandise manipulée par homme la nuit est remontée à 680 kilogrammes. On a donc réalisé une économie de 30 pour 100 sur le prix de la main-d'œuvre de nuit et on a diminué le nombre d'erreurs commises par le personnel.

Nous croyons que cette limite est exagérée. Bouguer a mesuré, au siècle dernier, l'éclairement produit à midi par un beau soleil sous un ciel sans nuage. Les chiffres indiqués par ce physicien correspondent à une clarté de 7000 carcels-mètres. La clarté du foyer de l'Opéra qui, d'après les expériences de M. Mascart, est en moyenne de 4 carcels-mètres paraît satisfaire les vues les plus faibles[1], et il semble difficile de supposer que l'on exigera, en tout cas, jamais un éclairement supérieur à celui qui permet de lire sans fatigue aussi facilement qu'en plein jour.

Cet éclairement est, d'après Weber, de 5 carcels-mètres.

[1] Voici pour les éclairements moyens à l'Exposition universelle de 1889.

Au Palais des machines.	2 carcels-mètres.
Autres espaces couverts.	1,25 —
Avenues et cours.	0,75 —
Jardins.	0,10 —

CHAPITRE V

PRINCIPAUX BRULEURS A GAZ EMPLOYÉS A L'ÉCLAIRAGE

Considérations générales. Brûleurs à air libre. — Becs bougies. — Becs à flamme plate papillons Manchesters. — Becs à verre. — Becs intensifs à air libre. — Becs à récupération. — Bec Chaussenot. — Bec Siemens, Bec Wenham, Cromartie, Danichewski. — Lampe rouennaise. — Becs Sée, Esmos, Gaso multiplex, Desselle, Lebrun. — Brûleurs à récupération appliqués à l'éclairage public. — Bec Delmas. -- Bec parisien. — Bec industriel. — Brûleurs à gaz à incandescence. — Bec Sellon. — Bec Clamond. — Bec Auer. — Albo-carbon. — Régulateurs. — Globes, réflecteurs. — Procédés d'allumage. — Choix de brûleurs à employer.

Considérations générales. — Lorsque du gaz d'éclairage jaillit d'un orifice et s'enflamme, une partie des gaz qu'il contient, l'hydrogène, l'oxyde de carbone, le gaz des marais, etc., brûlent sans décomposition préalable ; une autre partie comprenant les carbures denses, l'éthylène, l'acétylène, la benzine, le toluène, le xylène et les traces de naphtaline, etc., se décompose avant de brûler. Le jet gazeux contient, en suspension, des particules de carbone que la chaleur de la combustion porte à l'incandescence. C'est à ces particules de carbone qu'est dû exclusivement dans tous les becs, sauf pour les becs à incandescence, le pouvoir éclairant du gaz.

Les brûleurs à gaz doivent donc être disposés de telle sorte que :

1° Ils favorisent la suspension dans la flamme de la plus grande quantité possible de particules de carbone;

2° Que la température de ces particules de carbone soit le plus élevée possible. On sait, en effet, d'après M. Ed. Becquerel[1], que le pouvoir lumineux d'un corps porté à l'incandescence est une fonction exponentielle de la température.

Pour satisfaire à la première condition, les brûleurs doivent laisser échapper le gaz sous la plus grande épaisseur possible, de manière à enlever au contact de l'air comburant un important volume de gaz et à favoriser la décomposition des carbures avant la combustion. Les orifices des brûleurs doivent donc avoir la plus grande largeur possible. De plus, les brûleurs doivent laisser échapper le gaz sous une faible vitesse. Une forte vitesse de sortie favorise, en effet, le mélange de l'air extérieur avec le gaz[2], elle précipite donc la combustion des particules de carbone et, par suite, diminue le pouvoir éclairant du gaz.

Ces deux conditions, d'avoir des orifices ou fentes larges, et de laisser échapper le gaz sous une faible vi-

[1] D'après M. Ed. Becquerel, le pouvoir éclairant I d'un corps porté à la température T est donné par la formule $I = a\left(e^{b\,(T-t)} - 1\right)$ dans laquelle a, e et b sont disconstantes t la température à laquelle les corps cessent d'être lumineux.

Il résulte de recherches faites par différents physiciens que la formule de Becquerel donne des valeurs de I trop fortes pour les températures élevées.

[2] Le pouvoir éclairant du gaz décroît très rapidement avec la quantité d'air qu'on y mélange. Un mélange de 6 parties d'air et de 94 parties de gaz donne en effet une quantité de lumière moitié moindre de celle du gaz pur.

Un mélange de 20 pour 100 d'air et de 80 pour 100 de gaz n'est plus éclairant.

tesse et, par suite, sous une faible pression, s'appliquent à tous les brûleurs, soit à air libre, soit à verre. Elles ont été formulées dans une étude remarquable faite en 1860, par MM. Audouin et Bérard, sous la direction de Dumas et Regnault. La largeur des orifices et la faiblesse de la pression ne sont limitées que par la nécessité où l'on est d'obtenir une combustion complète. Si l'on exagère, en effet, ces deux conditions, on arrive à construire des becs où le carbone en suspension n'est plus complètement brûlé, et qui, par suite, laissent échapper de la fumée.

Les dispositions qui permettent d'élever les particules de carbone en suspension à la plus haute température possible ne peuvent, au contraire, être réalisées que dans les brûleurs à verre. Elles reposent, en effet, sur une admission d'un volume limité de l'air comburant, admission qui ne peut être réglée quand le gaz jaillit au sein d'une masse illimitée d'air ambiant, et sur le chauffage préalable de l'air par les produits de la combustion.

Cette application de la récupération aux brûleurs à gaz a été faite pour la première fois, il y a plus d'un demi-siècle, par un ingénieur français, Chaussenot.

On peut se demander si l'augmentation du pouvoir éclairant dû à l'emploi de l'air chaud, ne doit pas être attribuée à ce qu'en élevant la température de la flamme on arrive à décomposer certains carbures qui, dans les becs ordinaires, brûlent sans décomposition préalable. Si l'on arrivait, en effet, à obtenir la décomposition du gaz des marais, qui constitue une très forte proportion du gaz d'éclairage, on augmenterait considérablement le rendement des brûleurs.

L'expérience montre que cette hypothèse n'est pas exacte, et que la cause réelle de la supériorité des brûleurs à air chaud provient de la haute température du carbone en suspension,

En effet, si l'on étudie l'augmentation du pouvoir éclairant, qu'on obtient en élevant progressivement la température de l'air d'alimentation, on voit que le pouvoir éclairant s'accroît d'une manière continue.

On n'observerait pas une pareille continuité si l'on passait par une température qui permit la décomposition d'un nouveau carbure. Le nombre de particules de carbone en suspension, et par suite le pouvoir éclairant, croîtrait d'une façon brusque.

Du reste, les flammes des brûleurs à récupération sont plus blanches que celles des brûleurs à air froid, ce qui prouve que la température du carbone y est plus élevée.

Nous terminerons ces considérations générales en parlant de la transparence des flammes.

Les flammes sont suffisamment transparentes pour qu'il n'y ait pas lieu, dans la pratique, de se préoccuper de la perte d'intensité que pourra subir une flamme dont les radiations lumineuses devront traverser une autre flamme, comme cela se présente pour les nappes intérieures des becs d'Argand à couronnes multiples.

Il résulte, en effet, de nombreuses expériences faites par M. Em. Sainte-Claire-Deville à l'usine expérimentale de la Compagnie parisienne du gaz que :

1° L'intensité des radiations horizontales émises par un brûleur à flamme plate, est essentiellement la même dans toutes les directions, excepté dans celle du plan

de la flamme ; dans cette dernière direction, la perte de lumière ne dépasse pas 8 à 10 pour 100 ;

2° Qu'un rayon lumineux traversant la flamme d'un bec papillon perpendiculairement au plan de cette flamme, ne perd que 3 pour 100 de son intensité.

Bruleurs a air libre. — Nous avons vu que les brûleurs à air libre sont nécessairement alimentés par de l'air froid et qu'il n'est pas possible de réduire à la quantité strictement indispensable l'air comburant. Ces brûleurs sont donc nécessairement inférieurs, au point de vue du rendement lumineux, aux becs à verres, ils ont, par contre, l'avantage d'être fort peu coûteux, de ne nécessiter pour ainsi dire aucun entretien et d'être excessivement faciles à allumer.

Ces avantages, et particulièrement le dernier, feront encore, fort probablement, préférer longtemps les brûleurs à air libre pour l'éclairage public, surtout dans les foyers à faible débit. Le gaz livré aux municipalités est généralement vendu à bas prix, et l'économie de quelques litres par heure obtenue avec des becs perfectionnés, n'est pas compensée par les frais d'un allumage difficile et d'un entretien onéreux.

Les becs, à flamme libre, sont constitués par de petits cylindres creux généralement en fonte de fer ou en stéatite[1], plus rarement en bronze ou en zinc, fermés à la partie supérieure, soit par un disque, soit par un bouton sphéroïdal. Le disque ou le bouton sont percés de trous ou de fentes pour permettre l'échappement du gaz.

La fonte de fer s'oxyde ; le passage du gaz s'obstrue

[1] La stéatite est un silicate hydraté de magnésie contenant un peu de fer et d'alumine. L'application de la stéatite aux brûleurs à gaz a été faite pour la première fois par Schwartz de Nuremberg.

rapidement dans les becs en fonte et l'on est obligé d'épingler fréquemment les fentes.

La stéatite, au contraire, n'est pas attaquée par l'oxygène de l'air ; elle nécessite un épinglage moins fréquent, mais elle est très fragile. On doit éviter, avec cette matière, de faire usage d'épingloirs en acier, les fentes des becs doivent être nettoyées au moyen de feuilles de carton suffisamment minces.

Cette fragilité a fait toujours rejeter l'emploi de la stéatite pour l'éclairage public à Paris, malgré l'avantage important qu'elle présente au point de vue de la conductibilité de la chaleur. La stéatite, qui est peu conductrice, empêche l'échauffement des chandelles sur lesquelles sont vissés les brûleurs et des robinets qui les commandent. La graisse dont on enduit les clefs ne se dessèche pas et l'on évite ainsi les grippements des robinets.

Le bronze et le zinc sont rarement employés. L'usage de ces matières inoxydables ne paraît indiqué que dans les cas où les brûleurs peu accessibles sont très difficiles à remplacer et, par suite, ne doivent pas être fragiles, et où ils sont, en même temps, exposés aux intempéries. Ces deux circonstances se rencontrent dans les rampes d'illuminations.

Becs-bougies. — Les brûleurs percés d'un seul trou vertical et circulaire s'appellent becs-bougies.

Ce sont des becs à faible dépense, mais peu intenses et à mauvais rendement lumineux. Ils nécessitent, dans les meilleures conditions possibles, une dépense de 150 litres de gaz pour obtenir le pouvoir éclairant d'une lampe Carcel. MM. Audouin et Bérard ont énoncé les lois suivantes sur les becs-bougies.

1° La dépense tend à être constante pour une même hauteur de flamme, quel que soit le diamètre du trou ;

2° Il y a dans ces becs, au point de vue de leur pouvoir éclairant, un maximum expérimental et un maximum d'application. Le premier correspond au diamètre de 2 millimètres, hauteur de flamme 30 centimètres, dépense 123 litres. Mais dans ce cas, la flamme est très longue, fumeuse et tout à fait en dehors des conditions pratiques.

Le second maximum peut être considéré sous deux points de vue particuliers. Si l'on veut faire varier la dépense de son bec, pour avoir des quantités de lumière variables, il faut employer le diamètre de $1^{mm},5$ qui se prête à des conditions très différentes et donne une belle flamme pour des hauteurs croissantes de 7 à 25 centimètres au moyen de dépenses relativement faibles. (Entre ces limites, la dépense varie de 26 à 82 litres, le pouvoir éclairant passe de 0,08 à 0,57 Carcel, et la dépense de gaz calculée pour égaler une Carcel, varie de 294 à 149 litres.)

Mais comme le bec-bougie n'est employé que pour des petites hauteurs de flamme plus ou moins analogues à celles de la bougie stéarique, c'est le diamètre de 2 millimètres qui est le plus avantageux pour ces conditions. Avec ce diamètre, le maximum de lumière s'obtient, si l'on veut une flamme suffisamment raide, avec une hauteur de 10 centimètres pour une dépense de 34 litres. L'intensité est égale au cinquième d'une lampe Carcel et la dépense calculée pour égaler une carcel est de 161 litres.

On a construit des becs à trois trous verticaux suffisamment rapprochés, pour que les jets de flamme se

conjuguent. Le rendement lumineux de ces brûleurs est analogue à celui des brûleurs à un seul trou, mais on obtient des flammes qui imitent complètement celles de la bougie stéarique.

Becs a flamme plate. — Papillons. — Manchesters. — Les brûleurs à flamme plate comprennent les becs Manchester et les becs papillons.

Dans les becs Manchester, le cylindre qui constitue le brûleur est terminé par un disque percé de deux trous inclinés l'un sur l'autre et disposés (fig. 10) de telle



Fig. 10. — Bec Manchester.

sorte que les jets de gaz qui se rencontrent sous un certain angle s'épanouissent pour donner une flamme plate, située dans un plan perpendiculaire au plan des trous, et dont la forme rappelle la queue d'un poisson. La largeur de la flamme reste sensiblement constante, la hauteur seule varie avec la pression du gaz.

Quand on pousse trop loin la flamme d'un bec Manchester, la flamme change de forme et fait entendre un sifflement qui avertit de cet excès de dépense.

Les manchesters sont très employés pour les gaz riches; ils servent, en Angleterre, de types pour les essais de gaz de Cannel.

Les becs papillons sont des brûleurs dont le bouton est percé d'une fente verticale. Ces becs sont faciles à épingler, aussi les emploie-t-on généralement pour

l'éclairage public. Les figures 11, 12, 13 représentent les coupes de différents becs papillons.

Dans le bec (fig. 11), l'épaisseur du bouton suivant le diamètre vertical est plus grande que l'épaisseur suivant le diamètre horizontal. Ce type de papillon est celui qui a servi dans les essais de MM. Audouin et Bérard.

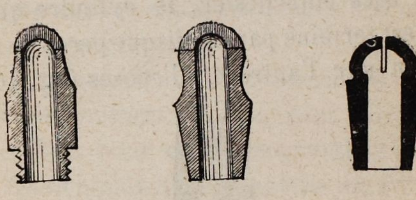


Fig. 11, 12, et 13. — Types de becs papillon.

Le papillon représenté figure 12 possède, au contraire, un bouton moins épais suivant l'axe, que suivant le diamètre horizontal.

Quand on fait varier le débit dans ces deux modèles de papillons, la largeur de la flamme varie, mais la hauteur reste sensiblement constante.

Dans les papillons représentés figure 13 et figure 14, l'épaisseur du bouton est uniforme. Le bec (fig. 13) est terminé par un bouton demi-sphérique évidé intérieurement et la fente est pratiquée suivant un demi grand cercle. Dans ce modèle de brûleur dit *Spar-Brenner*. fort répandu en Allemagne, la hauteur et la largeur de la flamme croissent avec le débit. Quand on pousse trop loin la dépense d'un spar-brenner, il se détache de la partie inférieure de la flamme deux petites cornes qui avertissent de cette dépense exagérée.

Dans la figure 14, le bouton est constitué par une

sphère presque complète, mais la fente reste pratiquée suivant un demi-grand cercle de cette sphère. La flamme a une largeur sensiblement constante, la hauteur seule croît avec le débit.



Fig. 14. — Bec papillon dit manchester fendu.

Cette constance de la largeur de la flamme que nous avons rencontrée dans les becs Manchestera fait donner à ces derniers becs papillons le nom de manchesters fendus. Elle a une grande importance lorsqu'on emploie des globes de verre qu'une flamme trop large peut briser. L'usage de globes doit donc entraîner l'emploi de manchesters ou de manchesters fendus. Ces derniers brûleurs sont souvent préférés à cause de la facilité de leur épinglage.

Il résulte d'essais faits par M. Em. Sainte-Claire Deville, à l'usine expérimentale de La Villette, que tous les becs à flamme plate, manchesters et papillons peuvent être classés dans une série unique, d'après leur puissance de débit.

Le débit V d'un brûleur qui laisse écouler du gaz sous la pression P est donné par la formule :

$$V = Q \sqrt{P}$$

pour les orifices pratiqués en mince paroi, Q est une constante, mais pour les brûleurs de forme complexe que nous étudions, Q varie dans de faibles limites avec la pression pour un même bec.

On peut obtenir un chiffre caractérisant bien la puissance de débit d'un brûleur en prenant la moyenne des valeurs de Q observées pour les différentes pressions comprises entre les limites usuelles.

La valeur de ce coefficient d'écoulement dépend à la fois, de la section des orifices, et de toutes les résistances que le gaz peut rencontrer dans son écoulement, par exemple des chocs qu'éprouvent les veines gazeuses dans les becs Manchester.

Trois lois principales régissent les becs à flamme plate.

1° Étant donné un brûleur quelconque, si on fait varier la pression P du débit et, par suite, la dépense de gaz, le maximum d'effet utile (quotient du pouvoir éclairant du brûleur par la dépense) correspond à la plus forte pression que le bec puisse supporter, tout en donnant une flamme ferme, mais calme et silencieuse.

Les limites entre lesquelles l'effet utile diffère peu de son maximum, c'est-à-dire entre lesquelles on peut faire varier le débit du brûleur dans des conditions avantageuses au point de vue du rendement lumineux, sont d'autant plus étendues que le bec possède un coefficient d'écoulement Q plus élevé ;

2° Étant donné une série de becs ayant des coefficients d'écoulement Q régulièrement croissants, l'effet utile maximum dont chaque bec est susceptible, va en augmentant, depuis les becs moins puissants jusqu'à ceux dont les coefficients d'écoulement Q atteignent environ 40. Au delà, l'effet utile maximum n'augmente pas d'une manière sensible. Il tend même à diminuer lorsqu'on exagère le coefficient d'écoulement;

3° Pour une dépense donnée, le bec qui a le meilleur

rendement lumineux est celui qui réalise cette dépense sous la *plus faible pression* compatible avec la fermeté de la flamme et la combustion sans fumée.

Dans ces conditions, et pour les dépenses usuelles que l'on demande aux papillons (100 à 250 litres à l'heure) le bec ne fonctionne pas avec le débit qui correspond pour lui, au rendement lumineux le plus élevé, puisque ce maximum de rendement lumineux n'est obtenu qu'avec une dépense beaucoup plus considérable, correspondant à la plus forte pression que ce brûleur puisse pratiquement supporter. Mais l'effet utile réalisé est supérieur à celui qu'on obtiendrait avec un bec à coefficient d'écoulement moindre, dont le maximum de rendement lumineux correspondrait à la dépense donnée, 200 litres par exemple.

Il résulte de cette troisième loi que pour les dépenses usuelles (100 à 250 litres à l'heure), on ne doit pas chercher à employer des papillons pour lesquels ce débit correspond au rendement lumineux maximum.

Avec les pressions dont on dispose dans les conduites de gaz, on ne peut faire brûler convenablement dans un bec à flamme plate plus de 450 litres de gaz à l'heure. Les meilleurs brûleurs appropriés à ce débit élevé donnent le pouvoir éclairant d'une lampe Carcel avec 95 litres de gaz.

Il ne faut pas donner à la fente une largeur de plus de $0^m,0007$. Cette largeur produit même une flamme trop molle pour être applicable aux brûleurs des lanternes publiques. Aussi à Paris s'est-on arrêté à une fente de $0^m,0006$.

Le bec public presque exclusivement employé à

Paris[1] dépense 140 litres à l'heure, et donne le pouvoir comburant d'une carcel avec 117 litres de gaz. La flamme a 0m,07 de largeur sur 0m,06 de hauteur environ.

Les becs à flamme plate dont le fonctionnement est en pratique le plus satisfaisant sont :

1° Les becs Manchester, pour les petites dépenses (inférieures à 140 litres) ;

2° Les becs papillons ordinaires pour les dépenses moyennes (140 à 250 litres) ;

3° Les becs papillons à tête creuse pour les fortes dépenses (250 à 450 litres).

Certains constructeurs ont conjugué des becs, c'est-à-dire ont suffisamment rapproché deux becs identiques, pour confondre en un seul les deux jets gazeux.

Le nouveau brûleur, ainsi constitué, se comporte exactement comme un bec simple ayant le même coefficient de débit. Il existe toujours un brûleur simple donnant le même résultat que deux becs conjugués ; en conjuguant deux mauvais becs, on peut obtenir un bon brûleur, mais il est inutile de recourir à cette complication.

Nous avons vu qu'il fallait proscrire, pour obtenir un bon rendement lumineux les fentes minces.

Cependant lorsque les becs doivent brûler en plein air, sans être protégés par des lanternes, comme dans les rampes d'illumination publique, il est nécessaire que

[1] Le traité de la *Compagnie Parisienne du gaz* avec la Ville de Paris prévoit trois séries de becs :

1° Un bec de 100 litres (il n'est employé que pour l'éclairage des colonnes affiches).

2° Un bec de 140 litres (c'est le bec généralement employé).

3° Un bec de 200 litres (on n'en fait point usage).

la veine gazeuse ait une vitesse suffisante pour résister au vent.

La fente des brûleurs ne doit pas dans ce cas dépasser $0^m,0002$ à $0^m,0003$[1].

BECS A VERRE. — Les brûleurs à gaz à verre ont été imités des becs de lampes à huile de colza inventés à la fin du siècle dernier, par un Français, Aimé Argand.

La figure 15 représente la coupe d'un brûleur à gaz d'Argand le plus simple. Le gaz pénètre par la partie inférieure d'un tube en U qui vient déboucher dans une

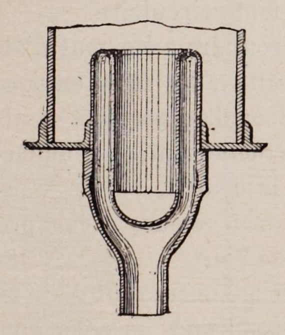


FIG. 15. — Bec d'Argand.

couronne cylindrique circulaire. Cette couronne cylindrique est percée à sa partie supérieure de trous suffisamment rapprochés pour que les jets gazeux se con-

[1] Cette nécessité de donner à la veine gazeuse une certaine vitesse rend les gaz riches impropres à être employés dans les rampes ou motifs d'illumination. La teneur des gaz riches en carbures denses entraîne en effet l'obligation de faire écouler ces gaz sous une faible pression.

Les abonnés du gaz portatif à Paris ont toujours eu recours au gaz de la *Compagnie Parisienne* pour alimenter leurs illuminations ou leurs brûleurs exposés au vent.

juguent et forment une nappe cylindrique. Une cheminée en verre entoure cette nappe. L'air pénètre à la fois par le centre de la couronne cylindrique et par l'espace annulaire compris entre la couronne et la cheminée en verre. Le tirage produit par cette cheminée détermine ainsi deux courants d'air ; l'un intérieur, et l'autre extérieur à la nappe enflammée qui se trouve léchée sur toute sa surface interne et externe par l'air comburant.

Certains constructeurs ont remplacé les trous rapprochés, par une fente circulaire.

La couronne circulaire a été tout d'abord construite en métal, plus tard on l'a faite en porcelaine, comme dans le brûleur Bengel qui sert aux essais de vérification du gaz à Paris. Actuellement, on remplace généralement la porcelaine par la stéatite.

Les différents constructeurs se sont préoccupés de régler l'admission de l'air.

On a souvent dirigé le courant d'air extérieur contre la flamme, en introduisant un cône constitué par une surface tronconique en métal, dont le bord le plus large vient s'appliquer tout près de la base de la cheminée, et le bord supérieur aboutit sensiblement au niveau inférieur de la veine gazeuse, en laissant seulement un passage de 2 à 3 millimètres pour l'entrée de l'air.

Les cônes produisent un effet analogue à l'étranglement des verres, dans les becs d'Argand à huile. Ils précipitent la combustion, blanchissent et raidissent la flamme, mais ils diminuent le rendement lumineux d'environ 5 pour 100 (essais de MM. Audouin et Bérard).

On a proposé différents procédés pour modérer la quantité d'air admise dans les brûleurs d'Argand.

La disposition la plus communément employée, consiste dans un panier en porcelaine percé de trous, dont le nombre et la section ont été déterminés expérimentalement (fig. 17).

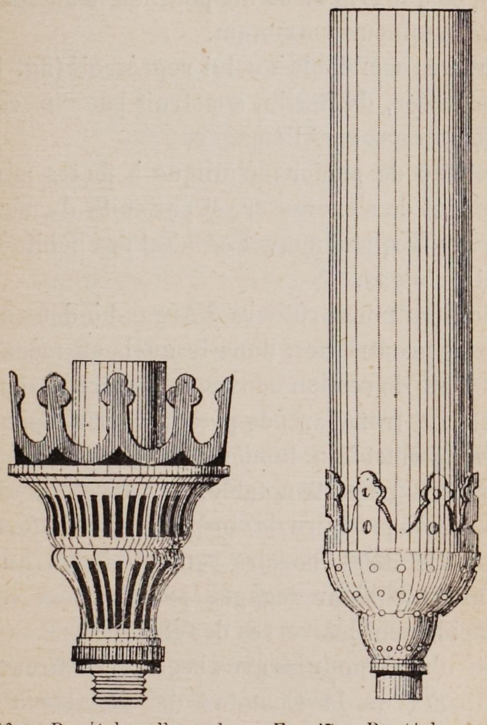


Fig 16. — Bec étalon allemand. Fig. 17.— Bec étalon parisien.

C'est Bengel qui le premier a fait usage du panier en porcelaine.

En Angleterre et en Allemagne on emploie des paniers en cuivre percés de deux rangées de fentes (fig. 16).

L'air destiné au courant d'air intérieur pénètre par

la rangée de fentes inférieure, l'air du courant d'air extérieur par la rangée supérieure. Ces deux courants d'air n'ont aucune communication entre eux, et on peut empiriquement déterminer les dimensions des fentes, de manière à ce que le brûleur ait pour un débit donné, un rendement lumineux maximum.

C'est un bec semblable à celui représenté (fig. 17) que la maison Elster, de Berlin, construit pour les essais de vérification du gaz en Allemagne.

Ce système de panier métallique à fentes minces, a l'inconvénient de s'encrasser, et par suite de nécessiter un nettoyage fréquent auquel on n'est pas habitué quand on s'éclaire au gaz.

On a construit des brûleurs d'Argand à deux ou trois couronnes concentriques, dans lesquels on ménage des courants d'air de section convenable entre chacune des couronnes. La transparence presque parfaite des flammes de gaz, permet à la lumière des nappes intérieures de traverser, sans perte notable, les nappes extérieures. On arrive ainsi à produire des brûleurs de très forte consommation (le débit horaire peut atteindre un mètre cube), mais la chaleur dégagée par ces becs intenses opalise rapidement les verres des cheminées.

On a été obligé, pour les gros becs qui éclairent le plafond lumineux de la Chambre des députés à Paris, d'avoir recours au mica, pour éviter les bris fréquents des cheminées.

L'emploi des becs d'Argand d'une consommation supérieure à 400 litres, est tout à fait exceptionnel.

Un gaz d'éclairage de composition moyenne, exige pour sa combustion complète 5,5 fois son volume d'air. La masse d'air est donc au minimum égale à 14 à 15

fois la masse du gaz. Le mouvement ascensionnel de l'air, sous l'influence du tirage de la cheminée, suffit amplement à assurer la direction et la fermeté de la flamme, et il n'est pas nécessaire, comme dans les becs à air libre, de débiter le gaz sous une certaine pression.

Les orifices de sortie du gaz dans les becs d'Argand, peuvent donc être relativement larges, les trous peuvent avoir jusqu'à 1 millimètre de diamètre. Cette forte section est une des causes de la supériorité des brûleurs à verre sur les becs à air libre.

Une autre cause de supériorité réside dans la possibilité de régler la quantité d'air comburant.

Pour éviter les pertes de chaleur, on serait conduit à n'admettre que le volume d'air strictement nécessaire à la combustion, c'est-à-dire à déterminer les orifices du panier pour un brûleur de 100 litres par exemple, de manière à ce que le tirage produit dans la cheminée par la combustion de 100 litres de gaz, ne permette l'introduction que de 550 litres d'air.

Il est facile de voir qu'un pareil brûleur ne serait pas pratique. Le rendement lumineux d'un bec donné, quand on fait varier le débit entre certaines limites, dépend principalement des proportions relatives d'air et de gaz admises aux différents débits. Si l'on prend un brûleur sans excès d'air, son rendement lumineux maximum se produira au débit le plus élevé, quand la flamme très molle tendra à être fuligineuse. L'aspect de la flamme est alors tel, que le consommateur sera tenté de serrer légèrement le robinet. La masse d'air admise, sous l'influence de la combution d'un volume de gaz légèrement inférieur au débit maximum, est sensiblement

le même que pour ce débit maximum. Le rapport entre les volumes d'air et de gaz croît donc assez rapidement quand on diminue le débit, et par suite le rendement lumineux du brûleur diminue assez rapidement quand on baisse légèrement la flamme.

Dans les becs, au contraire, comme dans le bengel type, où le volume d'air admis est environ neuf fois celui du gaz, le rapport entre les quantités d'air et de gaz varie peu dans les environs du débit maximum; et par suite entre des limites relativement étendues, le pouvoir éclairant du brûleur est proportionnel à la dépense[1]. Le consommateur peut donc serrer légèrement son robinet, tout en conservant au gaz un rendement lumineux avantageux.

Cette variation du rendement lumineux avec la dépense, dans les becs sans excès d'air, est mise en évidence par un excès comparatif de deux brûleurs, le bec Messmer à double couronne, et le bec Giroud de 400 litres.

Les becs Messmer comme les becs Sugg brûlent sans air en excès, tandis que le bec Giroud admet neuf fois plus d'air que de gaz.

Quand on règle successivement le bec Messmer aux dépenses de 475, 400 et 350 litres, la dépense par carcel varie de 77 litres à 100 litres et 110 litres. Le bec Gi–

[1] C'est sur cette proportionnalité du pouvoir éclairant à la dépense qu'est fondée la méthode de vérification du gaz en usage à Paris. Un bec sans *excès d'air* comme le sont les types anglais et allemands peut être employé dans les appareils photométriques où l'étalon est réglé à une dépense déterminée et où l'égalité d'éclairement sur l'écran est obtenue par la variation de la position de cet écran. Il ne serait pas applicable à Paris où l'on obtient l'égalité d'éclairement en agissant sur la dépense du brûleur étalon.

roud donne pour des débits de 400, 350 et 300 litres des dépenses par carcel de 92,2, 95,5 et 104,7 litres.

L'aspect de la flamme à 475 litres du bec Messmer est tel, que les consommateurs règleront leur robinet de manière à ne pas dépasser le débit de 400 litres. L'aspect de la flamme du bec Giroud est parfaitement acceptable à 400 litres. En pratique, le bec Giroud est donc préférable au bec Messmer, malgré l'excellent rendement d'une carcel pour 77 litres, que peut atteindre ce dernier brûleur.

Les essais indiqués au chapitre précédent, à l'occasion de la comparaison des pouvoirs éclairants du gaz à Paris, Londres et Berlin, montrent que l'intensité d'une Carcel est obtenue avec le gaz de Paris pour une dépense de :

105 litres dans l'étalon parisien ;
90 litres dans l'étalon anglais ;
85 litres dans l'étalon allemand.

Ce dernier étalon a les inconvénients des becs sans excès d'air.

Il résulte de cette étude sur les becs d'Argand, qu'on peut consommer avantageusement dans des brûleurs de ce type 100 à 400 litres de gaz, qu'il faut rejeter les brûleurs sans excès d'air, et, par suite, ne pas chercher à obtenir une dépense moindre de 90 à 100 litres par carcel.

Tous les chiffres d'intensité lumineuse indiqués pour les becs bougies, papillons, manchesters et d'Argand, s'appliquent à l'intensité de la radiation horizontale. En vertu de la loi sur la transparence des flammes, les radiations obliques ont sensiblement la même intensité que la radiation horizontale dans les becs à flamme

libre, mais il convient de se demander ce qui se passe dans les becs d'Argand, où les radiations obliques partant du centre de la flamme, rencontrent des parties opaques dans certaines directions voisines de la verticale, et où toutes ces radiations ont à traverser des épaisseurs de verre variables, sous des incidences différentes.

M. Em. Sainte-Claire Deville, expert du jury de la classe 27 à l'Exposition universelle de 1889, a mesuré l'intensité du Bengel type sous les différents angles. Il a obtenu les résultats portés dans le tableau suivant :

ANGLES	INTENSITÉS EN CARCELS
— 60°	0,963
— 45°	1,081
— 30°	1,109
— 15°	1,165
0	1,000
15°	1,015
30°	0,988
45°	0,876
60°	0,454
67°	0,213

(Les angles précédés du signe — s'appliquent aux radiations au-dessus du plan horizontal).

L'intensité moyenne sphérique est 0,945 carcel, inférieure seulement d'environ 5 pour 100 à l'intensité de la radiation horizontale.

La dépense par Carcel pour cette intensité moyenne sphérique est de 111 litres.

La quantité totale de lumière émise par le bec Bengel au-dessous de l'horizon, correspond à 43,3 pour 100 de la lumière totale produite.

La variation de l'intensité avec l'inclinaison de la radiation dépend de l'importance du panier et de la diffé-

rence de transparence des cheminées, pour les diverses radiations, il est donc naturel de penser[1] que l'on trouverait des chiffres proportionnels à ceux du tableau ci-dessus, si l'on essayait les différents modèles de becs d'Argand. On peut donc énoncer cette loi que pour les becs à verre ordinaires, l'intensité moyenne sphérique n'est inférieure que de 5 à 6 pour 100 à l'intensité horizontale.

La forte proportion de lumière émise au-dessus de l'horizon, indique qu'il est avantageux de munir les becs à verre de réflecteurs convenables.

Becs intensifs a air libre. — Nous avons vu qu'il ne fallait pas chercher à dépenser plus de 450 litres dans un brûleur à air libre.

Lorsque la lumière électrique, devenue suffisamment pratique, a créé des besoins d'éclairage intense, et a fait reconnaître que le brûleur de 140 litres, presque exclusivement employé dans les lanternes publiques, ne répondait plus aux nécessités créées par une circulation très active, on s'est préoccupé de rechercher si le gaz ne pouvait pas se prêter à l'éclairage de vastes espaces, où, comme dans les rues, les carrefours et les places publiques il est impossible de multiplier le nombre des appareils.

La première idée qui s'est présentée a été de grouper plusieurs papillons dans une même lanterne, mais on a reconnu que la combustion de becs voisins les uns des autres, s'effectuait mal si l'on n'aménageait pas convenablement la ventilation de la lanterne.

[1] Cette proportionnalité serait absolument exacte si les brûleurs étaient géométriquement semblables.

La *Compagnie Parisienne du Gaz* a été conduite ainsi à construire le brûleur dit du Quatre-Septembre,

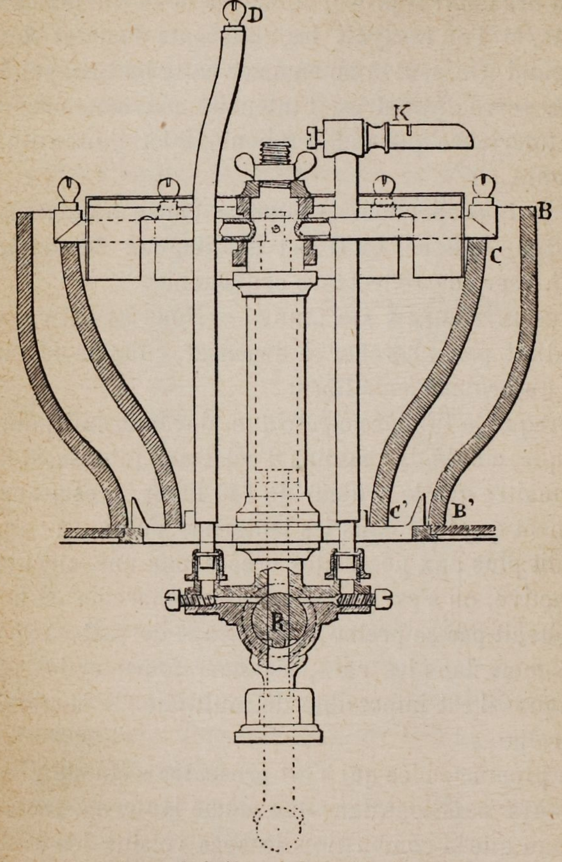


Fig. 18. — Coupe du brûleur de la rue du Quatre-Septembre.

ainsi nommé parce que les premiers types ont été placés rue du Quatre-Septembre [1].

[1] La Ville de Paris avait indiqué, en 1879, à la *Compagnie Parisienne du Gaz* cette rue voisine de l'avenue de l'Opéra alors éclairée

Ce brûleur est représente (fig. 18).

Il se compose de 6 becs papillons 6/10, disposés sur une circonférence et ayant leurs fentes tangentes à cette circonférence. Un système de deux coupes en cristal BB′, CC′, placé au-dessous de ces becs, détermine deux courants d'air, l'un intérieur et l'autre extérieur au cercle des flammes. Ces courants d'air maintiennent les flammes assez fixes et verticales ; leurs sections ont été déterminées expérimentalement, de manière à donner au brûleur le maximum de rendement lumineux dont il est susceptible.

On a réalisé ainsi une sorte de grand bec d'Argand, dont la cheminée est constituée par les verres de la lanterne.

Un petit bec K, constamment en veilleuse, permet l'allumage de la couronne par la manœuvre du robinet à trois eaux R, sans qu'on soit obligé d'ouvrir la lanterne. L'appareil est complété par un bec central D, qui peut, par le simple jeu du même robinet, s'allumer au contact des flammes de la couronne. Ce papillon reste seul en service après minuit.

Le brûleur a été placé dans des lanternes semblables à celles qui existaient aux Champs-Élysées. On a ménagé dans ces lanternes des courants d'air qui lèchent les verres, et les refroidissent suffisamment pour empêcher que la pluie ne les brise. Les parties du chapiteau au contact de la flamme, se composent de cônes en porcelaine, en contact aussi faible que possible avec les

par des foyers Jablochkoff comme champ d'essai d'éclairage. Elle avait stipulé que la quantité de gaz consommée serait telle que les prix de revient de l'éclairage électrique, et de l'éclairage au gaz, rapportés au mètre carré de surface de rue, seraient les mêmes.

parties métalliques de la lanterne et, par suite, avec les montants qui retiennent les verres.

On est ainsi parvenu à surmonter la difficulté principale, qui consistait à faire brûler 1400 litres de gaz dans une lanterne de dimensions restreintes, sans qu'on ait à redouter les bris fréquents de verres, sous l'influence des intempéries.

Les Anglais, à peu près à la même époque, ont construit des lanternes dans lesquelles ils ont groupé un certain nombre de gros brûleurs à flamme plate. Pour éviter les bris des verres, ils ont donné des dimensions considérables à leurs lanternes, et pour assurer la ventilation, ils les ont surmontées de cheminées métalliques. Ils sont ainsi arrivés à obtenir des appareils intensifs très satisfaisants au point de vue de l'éclairage qu'ils produisent, mais dont les dimensions importantes et la forme disgracieuse ne seraient pas acceptées à Paris.

Le brûleur du Quatre-Septembre donne horizontalement une intensité de 13 carcels environ, pour une dépense horaire de 1400 litres.

Les radiations obliques au-dessous de l'horizon, ayant à traverser les coupes de verre, et étant en partie masquées par des parties métalliques, sont sensiblement moins intenses que la radiation horizontale, comme l'indiquent les chiffres suivants :

ANGLE DU RAYON AVEC L'HORIZON	INTENSITÉ EN CARCELS
0	13 »
10°	12,32
20°	9,3
30°	8 »
40°	6,98

ANGLE DU RAYON AVEC L'HORIZON	INTENSITÉ EN CARCELS
45°	6,14
50°	4,80
60°	3,51
70°	1,33

Les chiffres ci-dessus montrent que l'intensité moyenne sphérique du bec du Quatre-Septembre est très faible relativement à sa consommation ; que, par suite, ce bec a un médiocre rendement lumineux total. Mais la courbe des intensités montre que cet appareil est excellent pour produire dans une voie ou sur une place publique un éclairement uniforme.

L'intensité des radiations décroît en effet très rapidement, avec l'inclinaison sur l'horizontale. De plus, la légère agitation de la flamme produit un assez bel effet décoratif.

Ce type de foyer est encore préféré dans les pays comme la Belgique où, par suite du voisinage des mines de houille, le prix de revient du gaz est faible et où, par conséquent, on se préoccupe moins de la quantité de gaz consommé par Carcel que de l'importance des frais d'entretien. A Paris, et en France en général, on paraît abandonner ces foyers à faible rendement lumineux, pour faire usage d'appareils intensifs à récupération.

BECS A RÉCUPÉRATION. — BEC CHAUSSENOT. — En 1836, la Société d'encouragement accordait à Chaussenot un prix de 2000 francs pour une lampe réalisant les moyens les plus efficaces d'augmenter le pouvoir illuminant des flammes produites par la combustion du gaz d'éclairage.

Les commissaires de la Société avaient constaté qu'avec l'appareil Chaussenot l'augmentation totale de

lumière, pour des quantités égales de gaz brûlé, est sensiblement de 33 pour 100 si on la compare à celle produite dans les becs ordinaires.

Le bec Chaussenot était un bec d'Argand avec double cheminée en verre concentrique. La cheminée centrale, plus élevée que la cheminée extérieure, produisait un tirage suffisant pour permettre à l'air de circuler entre les deux verres et de s'échauffer avant de servir à la combustion du gaz [1].

C'est à cet échauffement préalable de l'air par les gaz de la combustion qu'est due l'amélioration du rendement lumineux obtenue par Chaussenot.

Il est intéressant de rechercher dans quelles proportions croît ce rendement lumineux, quand on augmente la température de l'air.

Nous ferons observer tout d'abord qu'il est à peu près impossible de chauffer l'air employé à la combustion, sans chauffer le gaz. Du reste, comme la masse de gaz représente au plus le 1/16 de la masse d'air, l'application du chauffage au gaz seul, ne saurait exercer sur le pouvoir éclairant qu'une influence négligeable.

M. Em. Sainte-Claire Deville, dans des essais faits à l'usine expérimentale de la *Compagnie Parisienne du Gaz*, a mis en relief l'importance de l'emploi d'air chaud dans les bruleurs. A cet effet, il a entouré la base d'un bec d'Argand d'une enveloppe placée à l'extrémité d'une conduite amenant un courant d'air artificiel, réglable à volonté. Cette enveloppe avait été disposée de telle sorte

[1] Le bec Chaussenot a été réédité récemment à Paris sous le nom de bec Missire, il est très employé en Belgique sous le nom de bec Cardinal. La flamme est très fixe, malheureusement le verre intérieur très chauffé s'opalise rapidement.

que l'alimentation d'air se faisait exclusivement par son intermédiaire. La conduite pouvait être chauffée et des thermomètres indiquaient la température de l'air.

M. Em. Sainte-Claire Deville a reconnu que le rendement lumineux du brûleur était doublé lorsque, au lieu d'introduire dans le brûleur de l'air à la température extérieure, on augmentait de 500° cette température.

(La température de 500° est la température la plus élevée d'admission d'air dans les becs à récupération en usage.)

Il a reconnu également que, en-dessous de 500°, le rendement lumineux varie proportionnellement à l'augmentation de température de l'air, c'est-à-dire que ce rendement lumineux s'améliore de 20 pour 100 environ par chaque 100° d'élévation de température.

La complication de deux verres s'est longtemps opposée au développement de l'invention de Chaussenot, qui est restée presque oubliée jusqu'à ce que la propagation de l'arc électrique ait amené à construire de puissants foyers à gaz.

Bec Siemens. — En 1880, M. Frédéric Siemens, de Dresde, l'un des membres de cette famille d'inventeurs qu'ont illustrée ses deux frères, MM. Werner et William Siemens, a appelé l'attention sur les avantages de la récupération en construisant le bec représenté, figure 19 et figure 20.

Il se compose de trois compartiments concentriques ABC, le gaz pénètre par B, d'où il s'élève dans une couronne de tubes *t*. La flamme s'élève verticalement, puis se recourbe et pénètre dans la cheminée C. Les produits de la combustion descendent dans cette che-

minée et sont appelés dans une cheminée latérale D, qui les rejette dans l'atmosphère.

L'air comburant s'élève dans la chambre A et s'échauffe au contact des parois de la cheminée C, qui sont portées au rouge.

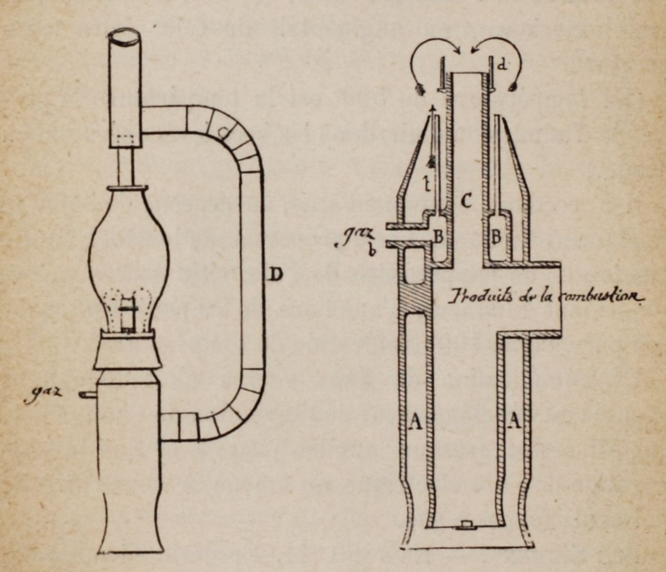


Fig. 19 et 20. — Brûleur Siemens.

La flamme est isolée de l'air extérieur par un verre ayant la forme soit d'un cylindre, soit d'une sorte d'œuf.

La cheminée en fonte C est surmontée d'un petit cylindre en porcelaine *d*, qui est porté à l'incandescence.

D'après les essais de Le Blanc, chef de service de la vérification du gaz à Paris, les différents modèles de becs Siemens donnent :

5 à 7 carcels pour 300 litres de gaz, soit 55 à 50 litres par carcel ;

13 à 14 carcels pour 600 litres de gaz, soit 40 à 45 litres par carcel;

20 à 22 carcels pour 800 litres de gaz, soit 38 à 40 litres par carcel ;

46 à 48 carcels pour 1600 litres de gaz, soit 33 litres par carcel.

Ce type de brûleur, fort remarquable, est assez répandu en Allemagne. Il est peu employé en France, à cause de son prix élevé, de son entretien onéreux (les récupérateurs durent peu) et de son aspect désagréable.

Ces inconvénients ont fait notamment rejeter les becs Siemens pour l'éclairage public à Paris, à la suite d'un essai fait place du Palais-Royal.

L'invention de M. Frédéric Siemens a été suivie de la création d'une série de brûleurs à récupération. Presque tous les constructeurs se sont appliqués à renverser le bec Siemens, à placer le récupérateur à la partie supérieure, à faire jaillir le gaz presque horizontalement, de manière à donner à la flamme du gaz la forme d'une tulipe, à isoler cette flamme de l'air ambiant par une coupe en verre suspendue au récupérateur, et à alimenter la combustion du gaz par de l'air chauffé au contact du récupérateur.

Ces brûleurs, lorsque leur consommation n'est pas supérieure à 200 litres, peuvent s'allumer par le haut. Pour les forts débits, il faut abaisser la verrine ou avoir recours à une étincelle d'induction.

M. Sée a inventé pour ce genre d'appareil un système d'allumage ingénieux. La verrine est percée à sa partie inférieure d'une petite ouverture circulaire fermée par

une bille de verre. On peut écarter cette bille de verre avec la tige d'un allumoir et présenter la flamme au brûleur. Quand on retire l'allumoir, la bille retombe sous l'influence de son poids et ferme l'ouverture de la verrine.

Les constructeurs de ces becs ont commencé par faire arriver le gaz à la partie supérieure. M. Danischewski a, le premier, imaginé un brûleur dans lequel l'entrée du gaz s'effectue à la partie inférieure. Ce brûleur peut être vissé sur les lyres ou lustres ordinaires et ne nécessite pas le remplacement des anciens appareils.

Tous les constructeurs ont suivi l'exemple de M. Danichewski, et on peut actuellement trouver dans le commerce un assez grand nombre de becs à récupération, que l'on peut substituer aisément aux anciens becs d'Argand.

Nous allons décrire succinctement quelques-uns de ces brûleurs.

Bec Wenham. — L'air pénètre par les canaux horizontaux C et s'échauffe au contact des parois intérieures de la couronne annulaire A que viennent lécher, à l'extérieur, les produits de la combustion. Le brûleur proprement dit a la forme d'une couronne analogue à celle du bec Bengel, mais les trous verticaux font sortir le gaz par le bas. Une calotte N épanouit la masse gazeuse.

Il existe un grand nombre de types de Wenham dépensant depuis 140 jusqu'à plus de 900 litres à l'heure.

Bec Cromartie. — Dans le bec Cromartie (fig. 22 et 23), dû à Sugg, le récupérateur est en fonte, comme dans le bec Wenham. L'air pénètre par de petites fenêtres *ff*, et parcourt de bas en haut l'espace annulaire A chauffé

par les produits de la combustion qui parcourent de haut en bas l'espace annulaire B. Le brûleur S est un petit bouton en stéatite percé de trous horizontaux.

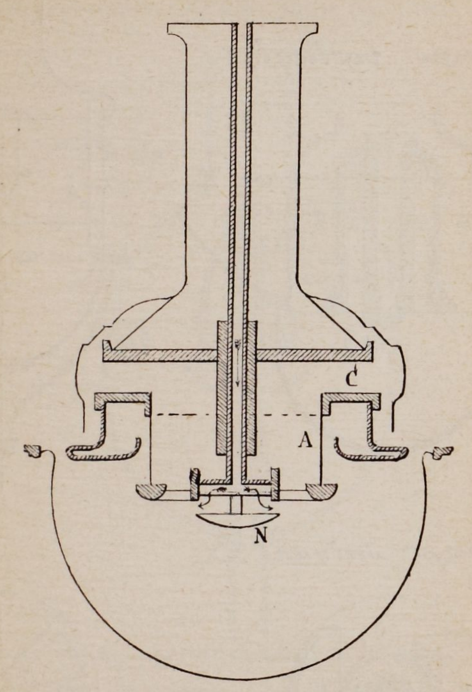


Fig. 21. — Coupe du bec Wenham.

On construit des becs Cromartie, depuis la dépense de 100 litres jusqu'à celle de 400 litres.

Becs Danichewski. — Les becs Danichewski sont caractérisés par l'orifice de débit du gaz. Le gaz sort à gueule bée d'un tube terminé par un petit cylindre creux en stéatite, et vient s'aplatir contre la section plane d'une tige métallique. La fente par laquelle jaillit le gaz a

5 ou 6 millimètres d'épaisseur ; elle ne nécessite aucun épinglage.

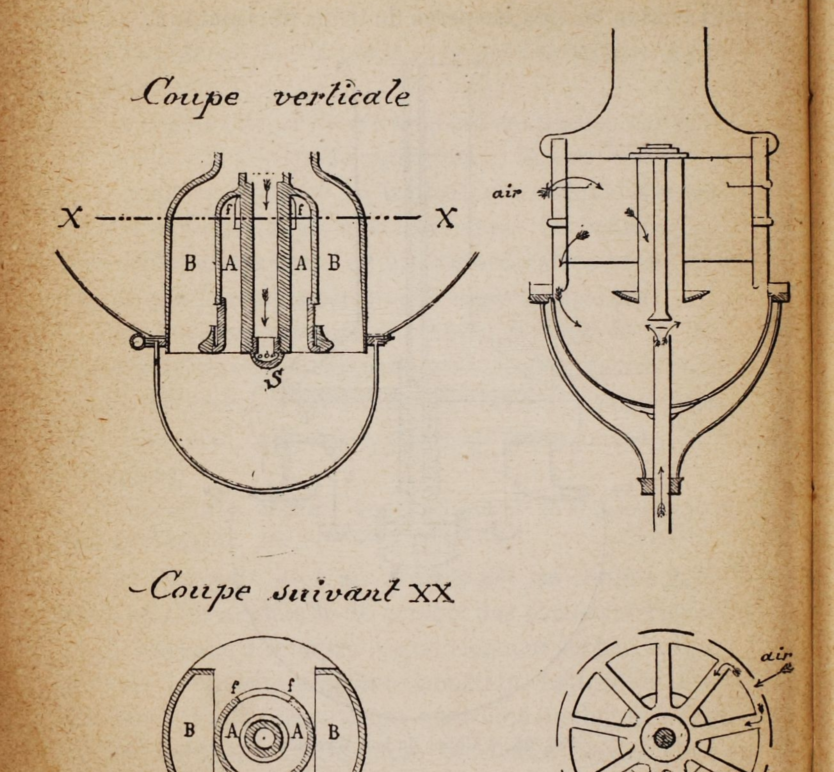


Fig. 22 et 23. — Brûleur Cromartie. Fig. 24 et 25. — Brûleur Danichewski.

Il existe deux types distincts de brûleurs Danichewski.

Dans le premier (fig. 24 et 25), le récupérateur est en cuivre et a la forme d'une étoile. L'air comburant tra-

verse de haut en bas certains compartiments de cette étoile, et les produits de la combustion montent dans les compartiments contigus. Le récupérateur est terminé à sa partie supérieure par une petite cheminée en verre.

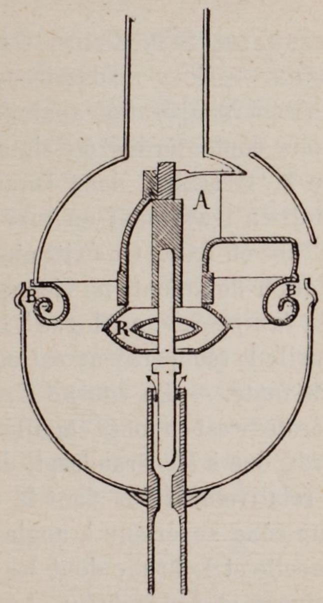


Fig. 26. — Bec Danichewski, nouveau modèle

Dans le second type, représenté figure 26, la partie métallique se réduit au tube recourbé A, à la pièce R, qui est en nickel, et à l'anneau B par où pénètre une partie de l'air comburant. L'autre partie de l'air comburant pénètre par le tube A chauffé par les produits de la combustion. La pièce R épanouit la flamme.

Toute l'enveloppe du bec est en verre. Ce brûleur permet donc, dans une certaine mesure, l'éclairage des plafonds. Il faut remarquer que dans ce second type la

récupération est moins parfaite que dans le premier. Le rendement lumineux se ressent légèrement de cette imperfection.

M. Danichewski construit des brûleurs de 140 et 200 litres.

Lampes rouennaise, Sée, Esmos, Gaso multiplex, Desselle, Lebrun. — Nous ne décrirons pas en détail les nombreux becs à récupération analogues aux précédents, nous nous contenterons de signaler la *lampe rouennaise* de M. Grégoire, dans laquelle le gaz pénètre par le haut, en traversant un tube en verre concentrique à un tube en fonte. On évite ainsi que les produits de l'oxydation de la fonte ne viennent obstruer les brûleurs. — La *lampe Sée*, analogue à la lampe Wenham, dans laquelle le récupérateur est constitué par un seul morceau de fonte. — La *lampe Esmos*[1], dans laquelle le récupérateur est en fonte émaillée.— La *lampe Gaso multiplex*, due à M. Brandsept, dans laquelle la flamme placée relativement bas dans la verrine, laisse dans l'ombre un cône supérieur à angle assez aigu.

Les becs Desselle et Lebrun, dont les récupérateurs sont peu volumineux et peu coûteux. La disposition de tous ces brûleurs est telle que, sauf pour les inclinaisons voisines de la verticale, une partie seule de la flamme est visible. L'autre partie est cachée, soit par le récupérateur qui forme un écran laissant dans l'ombre un cône supérieur plus ou moins obtus, soit par les parties métalliques qui amènent le gaz et qui guident l'air de la combustion.

Il résulte de cette disposition que l'intensité des ra-

[1] Anagramme de Somzé, son inventeur.

diations est variable avec l'inclinaison sur l'horizon, que le maximum d'intensité a lieu pour des radiations voisines de la verticale, et que si l'on veut se rendre un compte exact du rendement lumineux, il faut déterminer l'intensité sphérique moyenne.

Le jury de la classe 27 à l'Exposition universelle de 1889 a fait faire une série d'expériences sur des becs à récupération de faible consommation.

Les appareils mis à la disposition de l'expert, n'ont pas permis l'essai des brûleurs à fort débit, pour lesquels le rendement lumineux aurait été trouvé certainement plus élevé de 20 à 30 pour 100 ; mais en admettant que pour chaque système, les gros brûleurs soient presque géométriquement semblables aux petits, on voit qu'on serait arrivé sensiblement aux mêmes conclusions en ce qui concerne la répartition de la lumière.

Le tableau suivant résume assez exactement toutes les expériences faites sur l'ordre du jury.

DÉSIGNATION DES BRULEURS	DÉPENSE A L'HEURE	°/₀ DE LA LUMIÈRE TOTALE ÉMISE AU-DESSOUS DE L'HORIZON	DÉPENSE PAR CARCEL EN INTENSITÉ SPHÉRIQUE MOYENNE	INTENSITÉ SPHÉRIQUE MOYENNE	INTENSITÉ HORIZONTALE	INTENSITÉ MAXIMA	INCLINAISON DU RAYON LE PLUS INTENSE
	litres		litres				
Bengel photométrique. .	105	43,3	111	0,945	1,00	1,165	— 15°
Gaso multiplex. . . .	120	76,47	108	1,11	1,444	1,638	30
Lebrun.	155	79,6	104	1,48	1,952	2,733	60
Cromartie petit modèle.	88	82,91	103	0,84	1,249	1,536	45
Desselle.	173	79,7	100	1,70	2,354	3,100	45
Wenham étoile. . . .	166	86,7	100	1,59	2,438	3,007	30
Danichewski, nouv. mod.	162	70,84	92	1,75	2,094	2,715	45
Danichewski, anc. mod.	179	85,7	83	2,15	3,043	3,928	45
Cromartie moy modèle.	126	79,88	80	1,50	2,141	2,594	60

Il résulte de l'examen de ce tableau que l'intensité moyenne sphérique est, pour ces becs à récupération, environ la moitié de l'intensité de la radiation maxima, tandis que pour le Bengel photométrique, l'intensité moyenne sphérique ne diffère que de 5 pour 100 de l'intensité horizontale. On voit donc que l'on a fortement exagéré le rendement lumineux des becs à récupération, en indiquant dans les prospectus les chiffres des intensités maxima au lieu d'indiquer l'intensité moyenne.

Il y a lieu de remarquer que l'intensité maxima se produit pour des radiations très obliques, ce genre de brûleurs ne convient donc pas pour l'éclairage public, mais la répartition de l'éclairement qu'il fournit (environ 80 pour 100) de la lumière émise totale, est distribuée en dessous de l'horizon) doit le faire recommander comme bec d'intérieur.

Dans les écoles, les salles à manger, et en général dans toutes les pièces de surface restreinte, les foyers d'éclairage sont placés, en général, à des hauteurs telles, que les radiations voisines de la verticale ont une importance prédominante.

Ces becs sont d'autant plus à recommander pour l'intérieur des habitations, qu'ils peuvent être facilemet disposés pour permettre l'évacuation, à l'extérieur, des produits de la combustion.

La figure 27 représente un bec Wenham disposé pour assurer la ventilation des habitations.

On peut reprocher à tous ces brûleurs de présenter les inconvénients que nous avons signalés pour les becs d'Argand sans excès d'air. Ils ont besoin d'être parfaitement réglés pour avoir un rendement lumineux avan-

tageux. Pour les débits plus faibles, leur pouvoir éclairant diminue rapidement, quand on augmente légèrement la dépense ; ils fument facilement.

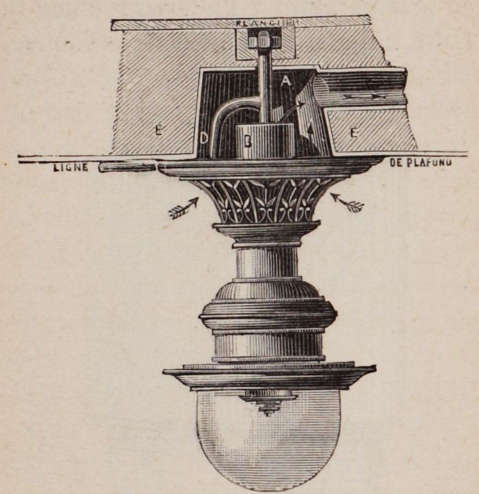


Fig. 27. — Bec Wenham disposé pour la ventilation.

De plus, ils émettent une chaleur rayonnante assez intense. Ils demandent à être placés très haut.

Bruleurs a récupération appliqués a l'éclairage public. — On s'est beaucoup préoccupé, dans ces derniers temps, de faire bénéficier l'éclairage public de l'économie de gaz que donne la récupération. Nous avons dit que les brûleurs Siemens avaient été abandonnés en France, à la suite d'un essai fait place du Palais-Royal. Les seuls appareils actuellement employés se composent d'un ou plusieurs becs à flamme plate, enveloppés dans une verrine qui les isole de l'air ambiant, et ne permet l'admission de l'air comburant, qu'après un passage dans un récupérateur.

Nous ne décrirons que les trois appareils les plus répandus.

Bec Delmas (fig. 28). — Il se compose d'un bec papillon en stéatite placé à l'intérieur d'une tulipe en verre G. Cette tulipe a la hauteur de la flamme, elle est

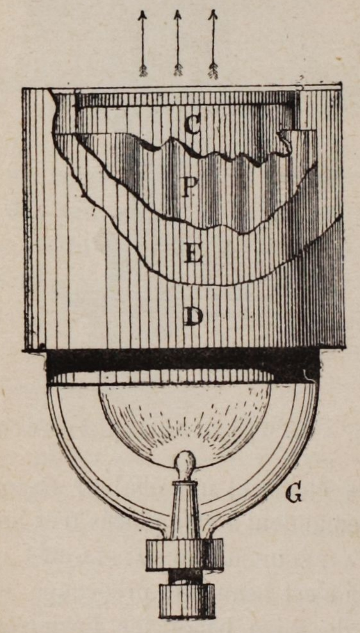


Fig. 28. — Bec Delmas.

surmontée d'une cheminée métallique C. Le récupérateur se compose d'un plissé P un peu moins élevé que la cheminée et entouré d'une enveloppe E. Cette dernière vient s'ajuster sur la tulipe en verre, elle est protégée contre le refroidissement par une garniture métallique D, qui descend moins bas que l'enveloppe E dont le rebord supérieur est fixé à la cheminée C.

L'air comburant s'élève entre les enveloppes D et E, redescend dans l'espace compris entre l'enveloppe E et le plissé P. Il s'échauffe au contact de ce plissé. On construit deux types de ce brûleur dont l'un dépense 85 litres et l'autre 140 litres à l'heure.

La ville de Toulouse est éclairée actuellement par trois mille becs Delmas de 85 litres qui ont une intensité d'une carcel chacun. Comme la lanterne doit être parfaitement close et que la faible consommation du brûleur serait incompatible avec l'emploi d'une veilleuse constamment enflammée, on a été obligé de recourir à une étincelle d'induction pour effectuer l'allumage. Les allumeurs sont munis d'une boîte contenant des piles et une petite bobine de Ruhmkorff[1].

Bec parisien. Système Schulke. — Cet appareil a été breveté en 1882. Il se compose d'une série de becs à fentes en stéatite (fig. 29) montés sur un chandelier F. Au centre de la couronne des brûleurs se trouve disposé un bec de minuit. L'allumage se fait au moyen d'une veilleuse V. Le groupe de brûleurs est disposé à l'intérieur d'une coupe en verre D, fermée hermétiquement et qui a la forme d'un cylindre raccordé avec une demi-sphère. Cette verrine laisse passer à la partie inférieure le chandelier porte-becs F commandé par un robinet à trois eaux, analogue au robinet du bec du Quatre-Septembre.

La partie essentielle de l'appareil consiste dans le

[1] Nous ne croyons pas que ces brûleurs se répandront pour l'éclairage public. Leur entretien et la difficulté de leur allumage ne compense pas une économie horaire de quelques litres. On ne changera les becs de 140 litres que pour les remplacer par des becs beaucoup plus intenses.

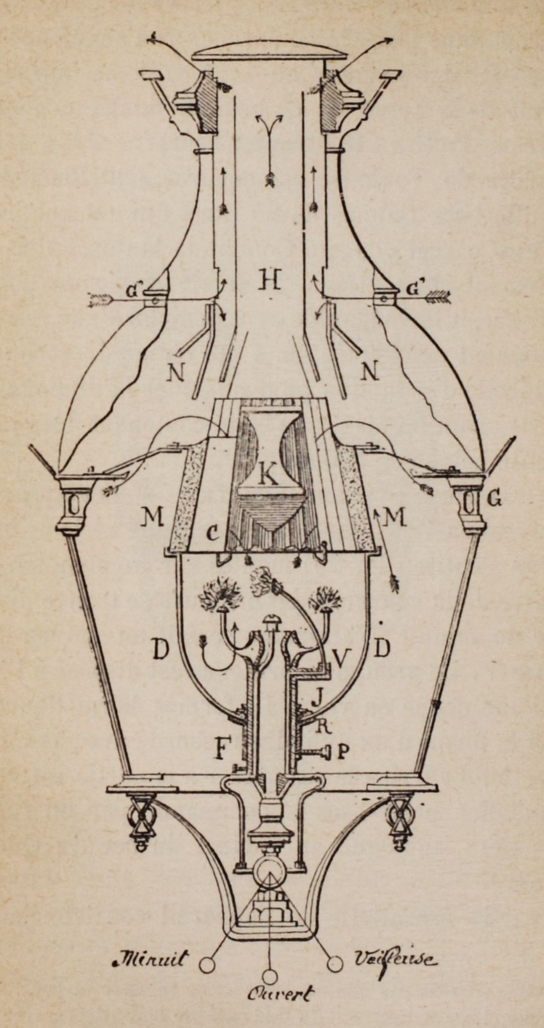


Fig. 29. — Bec parisien.

récupérateur. Celui-ci est formé d'une feuille de nickel tronconique plissée C. A l'intérieur de ce récupérateur est un obturateur en nickel K, dont la partie inférieure exposée à la flamme peut se changer facilement.

L'air comburant entre dans la lanterne :

1° Par les orifices de la galerie G, d'où il parvient aux becs après avoir léché l'extérieur du récupérateur.

2° Par les orifices de la galerie G′ où le courant se divise en deux parties. L'une descend aux becs, l'autre aspirée par les produits de la combustion active le tirage de la cheminée H. La surface conique N empêche la pluie de pénétrer dans la lanterne.

Le récupérateur est entouré d'une garniture d'amiante M qui le protège contre le refroidissement. La verrine est reliée au chandelier par un joint à l'amiante J avec une garniture métallique R, maintenue par une vis de pression P. Quand on veut toucher au bec, on desserre cette vis et la coupe descend le long du chandelier F.

Les becs parisiens qui sont placés dans les rues de Paris consomment à l'heure 225, 350, 550, 750 et 1000 litres à l'heure. Ils comportent 3, 4, 10 et 12 brûleurs, plus un bec de minuit, sauf l'appareil de 225 litres qui en est dépourvu.

La dépense par carcel varie en sens inverse du débit des brûleurs. Elle est d'environ 94 litres pour le bec de 225 litres et de 51 litres pour le bec de 1000 litres.

Cette dépense se rapporte à la radiation horizontale qui a une importance spéciale pour l'éclairage public.

Bec industriel. — MM. Lacaze et Cordier ont fait breveter en 1888 un appareil assez analogue au précédent (fig. 30). Le récupérateur, également en nickel, se compose de deux cylindres A et B communiquant entre

eux par une série de tubes horizontaux C disposés en quinconce.

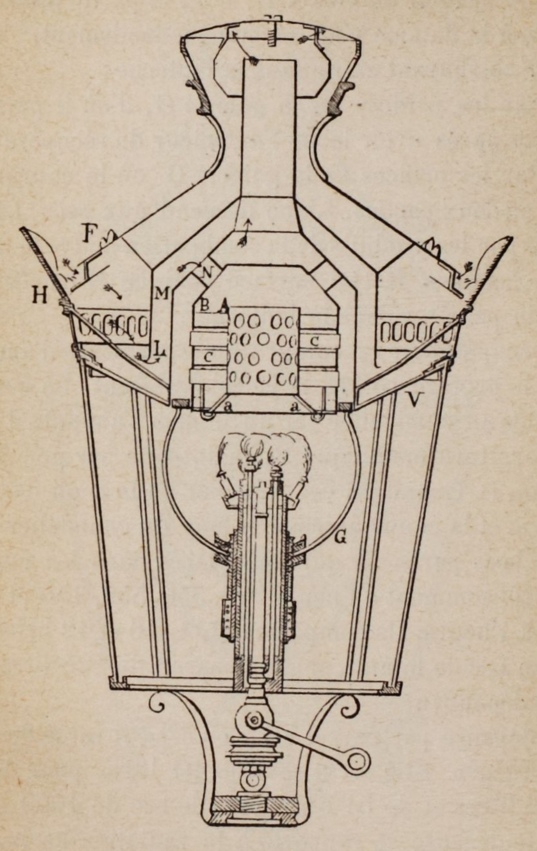


Fig. 30. — Bec industriel.

L'air extérieur pénètre dans la lanterne par l'évidement ménagé entre le chapiteau F et la couronne H.

Il s'élève entre la paroi extérieure L du récupérateur

et l'enveloppe de cuivre M. Enfin il entre dans le récupérateur par les ouvertures cylindriques N et n'arrive à la flamme qu'après s'être échauffé au contact des tubes C.

Le récupérateur diffère donc notablement de celui du bec parisien, de plus, la verrine a la forme d'une sphère presque complète, la flamme est plus éloignée du verre qui casse moins souvent.

La faible hauteur du récupérateur permet de le loger presque complètement dans le chapiteau d'une lanterne ordinaire.

Les orifices d'admission d'air et d'évacuation des produits de la combustion sont protégés par des brise-vents.

Le réflecteur V, les brûleurs, le mode de liaison de la verrine G avec le chandelier porte-bec présentent des dispositions analogues à celles qui existent dans le bec parisien.

Il existe dans les rues de Paris trois modèles de becs industriels consommant 430, 750 et 1200 litres à l'heure.

La dépense par carcel varie pour la radiation horizontale de 80 à 50 litres.

Bruleurs a gaz a incandescence. — Nous venons de passer en revue les principaux brûleurs dans lesquels la lumière est dûe à l'incandescence des particules de carbone provenant de la décomposition du gaz. Nous allons décrire maintenant succinctement des becs, dans lesquels le gaz brûle après une addition préalable d'air et porte à l'incandescence des matières réfractaires.

Ces becs à incandescence ont un avantage incontestable. L'appareil de combustion étant un bec Bunsen, il

n'y a pas de particule de carbone en suspension qui puisse échapper à l'action comburante de l'air, et par suite point de fumée possible.

Leur place est marquée dans les cas où l'on attache une grande importance à la conservation des peintures des plafonds.

De plus, la lumière produite étant assez blanche, et se rapprochant au point de vue de la couleur de l'arc voltaïque, on peut employer utilement ces becs dans les magasins, où l'on a besoin de distinguer les couleurs.

On peut également chercher à obtenir, avec les becs Clamond et Auer, des effets analogues à ceux que l'on produit avec l'arc électrique.

Certains becs à incandescence ont un excellent rendement lumineux qui ne paraît pas compensé par la nature des radiations très réfrangibles que ces foyers émettent[1], par la fragilité des mèches, et par le remplacement onéreux des verres qui se brisent assez fréquemment.

On peut, en plaçant artistement quelques-uns de ces brûleurs dans le voisinage de becs ordinaires, chercher à obtenir des effets décoratifs de contraste ; mais il ne faut pas songer à demander à ces foyers blafards un éclairage général qui soit gai. Rien ne vaut dans les salles de fête ou de bal, la lumière chaude et dorée de nombreux becs papillons brûlant sans globe, dont les flammes, légèrement mobiles, produisent des jeux de lumière dans les cristaux des lustres.

1 Nous avons indiqué au chapitre précédent l'influence de la réfrangibilité des radiations sur la perception par l'œil des objets extérieurs. Il faut beaucoup moins de lumière jaune que de lumière blanche, pour voir distinctement.

La nature de la matière incandescente varie avec les systèmes.

Bec Sellon. — M. Sellon a construit un bec dans lequel un brûleur Bunsen porte à l'incandescence une mèche en tissu de platine iridié. M. Sellon s'est servi pour la confection de sa mèche, de l'alliage (90 pour 100 de platine, 10 pour 100 d'iridium) qu'il a fourni pour la construction du mètre étalon. Le bunsen est construit de manière à mélanger l'air au gaz dans la proportion de 5,5 volumes contre un.

Ce mélange qui n'a pas besoin d'une nouvelle addition d'air pour brûler, est obligé de passer tout entier à travers le tissu métallique qui a la propriété de condenser les gaz.

La combustion s'effectue sans flamme dans les pores de la mèche qui est ainsi portée à une température très élevée.

M. Sellon en donnant au bunsen des orifices convenables, en entourant le brûleur d'une cheminée, déterminant un tirage suffisant, a pu réaliser l'incandescence du platine par le gaz d'éclairage, sans avoir recours comme Bourbouze et la Société Popp, à l'air forcé.

M. Chemin, professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées, a fait construire récemment un bec à platine incandescent analogue au bec Sellon.

Ces brûleurs paraissent voués à l'insuccès, parce que la nature physique du platine et sa propriété condensante se modifient très rapidement.

A partir du premier allumage, le rendement lumineux qui, au début, peut atteindre 1 carcel par 80 litres de dépense, baisse rapidement d'une manière constante, et cette baisse va jusqu'à environ 40 pour 100 du rende-

ment primitif, au bout de 50 à 60 heures d'allumage. Le remplacement, nécessairement fréquent, des mèches devient dans ces conditions trop onéreux pour rendre pratique ce genre de brûleurs.

Becs Clamond (fig. 31). — Dans les brûleurs Clamond, le corps porté à l'incandescence est constitué

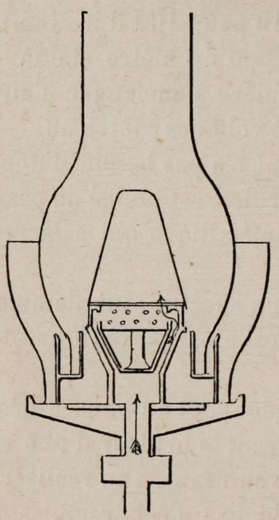


Fig. 31. — Bec Clamond.

par une corbeille conique en magnésie. Les premiers becs Clamond étaient alimentés par un courant d'air forcé ; plus tard on a remplacé l'air forcé par de l'air chauffé au moyen d'un jet de gaz indépendant de celui qui porte à l'incandescence la corbeille réfractaire ; enfin on s'est arrêté à un dispositif analogue à celui de Chaussenot. L'air comburant passe entre une coupe en verre et la cheminée. Le tirage qui détermine cet appel d'air nécessite une cheminée en verre assez élevée.

Le plus répandu des becs Clamond consomme 200 litres à l'heure.

Les expériences faites à l'Usine expérimentale de la Compagnie Parisienne du Gaz ont montré que le débit avait besoin d'être réglé par un excellent rhéomètre. Le rendement lumineux s'abaisse en effet très rapidement, lorsque l'on s'écarte de la dépense la plus avantageuse.

Voici un tableau résumant 75 essais :

DÉPENSE A L'HEURE	INTENSITÉ EN CARCELS	DÉPENSE PAR CARCEL
litres		litres
164	0,419	392
175	0,777	225,3
185,30	1,192	155,4
192,20	1,703	112,9
196,60	1,968	99,9
201,70	2,320	87,0
207,30	2,361	87,8
219,10	2,18	100,2

Ce modèle de bec Clamond ne peut donc fournir la Carcel avec moins de 87 litres de dépense. Comme le gaz, avant de brûler, est mélangé d'air dans une proportion relativement faible, le bec file légèrement quand on dépasse la dépense de 210 litres.

Les paniers de magnésie ont, sur le platine, l'avantage de conserver toute leur faculté d'incandescence tant qu'ils sont intacts. Mais les filaments qui les composent sont très fragiles, et se brisent spontanément. Des fragments se détachent de temps en temps et diminuent la surface lumineuse.

On est donc obligé de renouveler ces corbeilles au bout d'un certain nombre d'heures de fonctionnement. Nous

avons pu déterminer leur durée sur 12 becs qui ont brûlé régulièrement du 19 octobre 1887 au 22 mars 1888, pendant 281 heures. On a dû remplacer, pendant ce temps, 39 paniers. La durée moyenne des paniers a donc été de 86 heures.

Dans ces derniers temps, M. Clamond a renversé son brûleur ; il a suspendu le cône par sa base et constitué un bec à magnésie incandescente, à récupération comparable au bec Wenham.

Le rendement lumineux de ces becs renversés est beaucoup meilleur que celui des becs droits, il atteint pour les gros brûleurs le chiffre d'une Carcel par 38 litres de dépense. Ils comportent plus d'élasticité dans la dépense que les becs droits[1].

La société *l'Energie* construit des becs Clamond, à récupération, dont le débit varie depuis 95 jusqu'à 700 litres.

Malheureusement, le tirage nécessite une cheminée fort longue ; de plus, les paniers ont peu de durée. Ils ne peuvent pas servir plus de quatre ou cinq soirées.

La lumière produite est blanche et fixe.

Bec Auer. — Les brûleurs *Auer* (fig. 32) ont sur le bec Clamond l'avantage de ne pas nécessiter de cheminées en verre de plus de 25 centimètres de hauteur. De plus, ils sont à faible débit. Il en existe deux modèles, l'un dépensant 70, l'autre 110 litres environ à l'heure. Ces brûleurs peuvent être facilement substitués sur les appareils à gaz existant aux anciens becs d'Argand.

Comme ils dépensent relativement peu de gaz, leur

[1] Le type dit de 350 litres a donné une carcel par 37 litres et au débit de 420 litres à 500 litres on obtient encore la carcel par 40 litres.

emploi paraît tout désigné lorsqu'on redoute la chaleur dégagée par la combustion.

La mèche du brûleur *Auer von Welsbach* est constituée par un tissu de coton que l'on trempe dans une dissolution de sels métalliques.

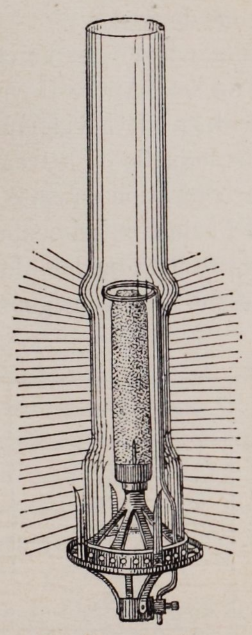


Fig. 32. — Bec Auer.

La composition de cette dissolution est tenue secrète, elle contient, paraît-il, des sels de zircone, de didyme, de lantane, etc. On dessèche ces mèches, on les place sur une sorte de moule et on les brûle avec la flamme d'un chalumeau. En réalité, le coton ne sert que de support provisoire, la combustion fait disparaître complètement la matière organique. On arrive ainsi à produire

un panier en matières réfractaires, ayant la structure du tissu primitif et à masse excessivement faible.

C'est ce panier qui est porté à l'incandescence par la flamme d'un Bunsen, dont les orifices ont été calculés, de manière à faire un mélange de 2,88 volumes environ d'air et d'un volume de gaz.

Il est assez difficile de donner un chiffre pour le pouvoir éclairant d'un bec Auer. Il varie d'un appareil à l'autre ; il dépend, en effet, évidemment de la nature de la dissolution dans laquelle on a trempé la mèche, et de la durée de la carbonisation de cette dernière.

On a essayé, à l'usine expérimentale de la *Compagnie Parisienne*, un petit modèle de ces brûleurs ; les résultats de cet essai sont consignés dans le tableau suivant :

DÉPENSE A L'HEURE	INTENSITÉ ABSOLUE	DÉPENSE PAR CARCEL
litres	carcels	litres
48	1,041	46,1
52	1,633	31,7
57	2,062	27,5
63,5	2,588	24,5
69	2,924	23,6
76	2,829	26,9

Ce tableau montre que, dans des limites de débit assez étendu, le bec Auer a un excellent rendement lumineux.

Ce rendement lumineux diminue malheureusement assez rapidement quand la mèche devient vieille. La dépense de $23^{lit},6$ par carcel, que l'on obtient avec une mèche neuve, s'élève à $31^{lit},2$ au bout de 100 heures, à $42^{lit},8$ au bout de 244 heures, à $57^{lit},7$ au bout de

384 heures, à $64^{lit},05$ au bout de 504 heures, à $76^{lit},3$ au bout de 664 heures, à 84 litres au bout de 830 heures et à $92^{lit},3$ au bout de 1070 heures. La mèche ne change pour ainsi dire pas d'aspect, le pouvoir éclairant du bec baisse cependant rapidement.

Un autre inconvénient du bec Auer réside dans la grande fragilité de la mèche, qui nécessite beaucoup de précaution lors de l'allumage. Il faut éviter de produire une légère explosion qui ébranlerait les oxydes métalliques. L'allumage doit être effectué par le bas, avec une flamme de lampe à essence.

La lumière des becs Auer est excessivement fixe. Ils peuvent, dans certains cas, rendre de grands services.

Albocarbon. — Nous ne parlerons pas des appareils qui ont pour but de mélanger au gaz des vapeurs d'essences légères et qui, par suite, augmentent sensiblement son pouvoir éclairant. Ces carburateurs ont des inconvénients tels, qu'il ne faut pas en recommander l'usage, et que, du reste, ils sont fort peu employés.

Nous dirons cependant un mot d'un procédé assez répandu de carburation par un corps solide, la naphtaline.

Dans ce système, tombé depuis longtemps dans le domaine public, et dont l'invention paraît due à un Français, Barbier, il existe un carburateur par brûleur ou par groupe de brûleurs très rapprochés les uns des autres.

La naphtaline est un carbure d'hydrogène solide, blanc, qui s'extrait du goudron du gaz. Elle fond à 79 ou 80°, bout à 218°, mais au-dessous de 80°, c'est-à-dire à l'état solide, elle possède une tension de vapeur assez élevée.

Dans les becs dits *à albocarbon* (fig. 33), la naphtaline est placée dans une boule métallique chauffée par le brûleur. Le gaz, avant d'arriver au bec, traverse cette boule, où il se charge de vapeurs de naphtaline.

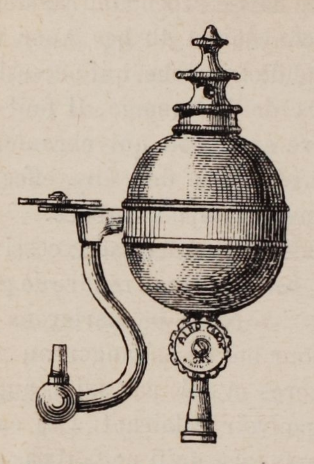


Fig. 33. — Bec à albocarbon.

Un bec à albocarbon (on ne construit que des becs à flamme plate, sans verre), dépensant 107 litres à l'heure, donne un pouvoir éclairant de 3,53 carcels et consomme 7 grammes, de naphtaline à l'heure. On obtient donc l'éclairage d'une carcel avec une dépense horaire d'environ 30 litres de gaz et 2 grammes de naphtaline.

La lumière des becs à albocarbon est fort belle, très blanche et très fixe. Malheureusement, ces brûleurs laissent toujours répandre l'odeur pénétrante et désagréable de la naphtaline.

Ils sont surtout employés chez les commerçants qui débitent des marchandises dont l'odeur peut masquer

celle de l'albocarbon, comme les épiciers, les droguistes et les pharmaciens.

Régulateurs. — Nous avons vu que les becs à air libre et les becs Auer peuvent, dans les limites de débit assez étendu, donner un bon rendement lumineux. La constance de la dépense de gaz a donc pour ces brûleurs, une importance secondaire ; ils peuvent supporter des variations de pression sans qu'il y ait nécessité absolue de toucher aux robinets qui les commandent.

Les becs à verre ordinaires, et surtout les becs à récupération et les becs Clamond comportent, au point de vue de leur rendement lumineux, moins d'élasticité dans leur débit. Lorsque leur dépense est exagérée, il se produit de la fumée. Il est donc indispensable de les soustraire aux variations de pression qui se produisent nécessairement dans les conduites souterraines.

On peut faire précéder les installations intérieures de régulateurs de pression, analogues à ceux que l'on place à la sortie des usines. Ces régulateurs assurent la constance de la pression à l'origine de la distribution.

Mais cette solution qui peut être appliquée lorsqu'on allume et qu'on éteint simultanément tous les becs desservis par un régulateur n'est pas efficace, lorsque les becs doivent fonctionner séparément. La pression reste bien constante à l'origine de l'installation intérieure, mais comme les pertes de charge, dans cette installation, varient avec le volume de gaz débité, les pressions aux becs varient avec le nombre des brûleurs allumés.

Il convient donc de munir chaque brûleur d'un appareil, qui rende son débit indépendant de la pression à laquelle il est soumis.

Le meilleur de ces régulateurs de volume, au point de vue du bon fonctionnement, est le rhéomètre humide inventé par Giroud, dont le brevet est depuis quelques années dans le domaine public. Il est représenté en coupe, figure 34. Il se compose d'une capacité cylindrique, dans laquelle le gaz pénètre à la partie inférieure, et dont la sortie est située à la partie supérieure.

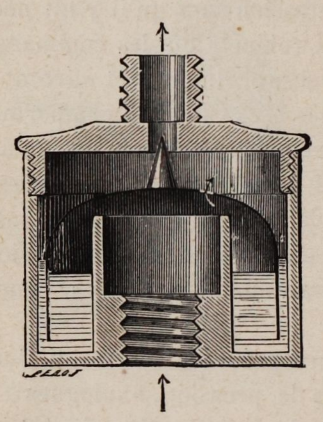


Fig. 34. — Coupe du rhéomètre Giroud.

Le fond de cette capacité est rempli d'un liquide (glycérine ou huile d'amandes douces) non volatil et incongelable. Une cloche mobile plonge dans ce liquide. La calotte de cette cloche, percée d'un petit orifice de section convenable, est munie d'un cône qui étrangle plus ou moins le tube de sortie du gaz.

Lorsque le gaz pénètre dans l'intérieur de la cloche, il la soulève jusqu'à ce qu'elle prenne une position d'équilibre telle, que la différence des pressions exercées de haut en bas et de bas en haut sur la calotte, soit égale au poids de la cloche. Le gaz s'écoule donc par l'orifice

pratiqué dans la calotte sous l'influence d'une chute de pression constante, indépendante de la pression d'entrée du gaz dans le régulateur. La vitesse d'écoulement du gaz est par suite également indépendante de cette pression d'entrée.

Giroud a construit de bons becs d'Argand (fig. 35), dans lesquels le rhéomètre fait corps avec le brûleur.

La présence du liquide, qui a besoin d'être renouvelé à de très rares intervalles, a fait construire des rhéomètres dits *secs*, dans lesquels un disque métallique



Fig. 35. — Bec d'Argand avec rhéomètre.

horizontal, solidaire d'un dispositif d'étranglement faisant l'office du cône de l'appareil précédent, se meut dans une cavité cylindrique verticale. Le gaz s'écoule par l'intervalle compris entre la paroi cylindrique et le disque, sous l'influence d'une chute de pression égale au poids du disque. La vitesse d'écoulement est donc indépendante de la pression d'entrée comme dans le régulateur humide de Giroud.

Les rhéomètres secs sont peut-être moins irréprochables au point de vue du bon fonctionnement que les rhéomètres humides, mais l'absence de liquide doit les faire préférer, lorsqu'ils commandent des brû-

leurs à chaleur rayonnante intense, comme les becs à récupération.

Nous croyons devoir recommander de placer les rhéomètres secs ou humides, dans une position telle qu'ils soient légèrement chauffés par la flamme.

On évite ainsi les obstructions par la naphtaline.

Globes, réflecteurs. — Lorsqu'on veut concentrer sur des plans inférieurs la lumière produite par des foyers à gaz, il faut faire usage de réflecteurs qui ont la forme de cônes et que l'on place au-dessus des brûleurs. L'emploi des réflecteurs est indiqué pour les becs d'Argand qui, sans le secours de réflecteurs, ne distribuent pas au-dessous de l'horizon la moitié de la quantité totale de lumière qu'ils émettent. Ils sont beaucoup moins utiles lorsqu'on fait usage de becs Wenham et analogues, la lumière distribuée par ces brûleurs, au-dessous de l'horizon, étant les quatre cinquièmes de la lumière totale émise.

Quand on veut mettre les flammes plates à l'abri du vent, on les entoure de globes, soit clairs, soit diffusants.

Ces derniers globes, suivant leur nature, absorbent 30 à 50 pour 100 de l'intensité totale des foyers. Ils ne sont à recommander que quand les brûleurs sont assez bas pour être rencontrés fréquemment par l'œil. Nous avons expliqué, en effet, que, lorsque les foyers sont situés dans le champ visuel, l'absorption de lumière par les globes est compensée par l'avantage que l'on retire au point de vue de la vision, de l'augmentation de surface des foyers.

Procédés d'allumage. — L'allumage des brûleurs s'effectue, soit au moyen de lampes à huile de colza pro-

tégées contre le vent par des enveloppes métalliques perforées quand il s'agit de lanternes publiques, soit au moyen d'allumoirs à alcool quand il s'agit de becs d'intérieur.

Il est bon toutefois de se tenir en garde contre les dangers d'incendie que présentent ces derniers allumoirs. Le liquide se répand facilement en dehors de l'appareil et s'enflamme. Aux magasins du Louvre, on les a remplacés par des allumoirs électriques constitués par des piles, des appareils d'induction et des perches munies à leur extrémité, de deux pointes de platine. Il serait désirable que cet exemple fût suivi dans tous les cas où les incendies sont à redouter.

Lorsque les brûleurs sont très hauts et inaccessibles ; quand on emploie des becs Wenham, Cromartie, de fort débit, et que l'ouverture des verrines est difficile, on peut disposer à côté des plomberies, une canalisation électrique dans laquelle on lancera, à un moment donné, un courant. L'allumage doit, dans ce cas, être effectué au moyen d'étincelles, et non pas au moyen de fils de platine incandescents qui sont fort rapidement hors de service.

L'emploi des brûleurs à récupération pour l'éclairage public nécessite des lanternes bien closes, et il est difficile d'ouvrir les verrines. Lorsque les foyers sont intenses, on fait usage de petites veilleuses à gaz constamment allumées, dont la dépense pendant vingt-quatre heures est insignifiante par rapport à la dépense du brûleur, mais quand on emploie des becs à faible débit, comme les becs Delmas, la dépense d'une veilleuse n'étant pas relativement négligeable, on est obligé, comme à Toulouse, d'avoir recours à un allumage électrique.

Les allumeurs sont munis d'appareils analogues à ceux employés aux magasins du Louvre; ils font jaillir une étincelle d'induction lorsqu'ils ont ouvert le robinet.

Choix des bruleurs a employer. — Nous terminerons ce chapitre par les indications suivantes sur le choix des meilleurs brûleurs à employer.

Plusieurs cas sont à considérer.

Quand on a à éclairer des espaces découverts, exposés au vent, des rues, des places publiques, il faut, pour les petits foyers, faire usage de becs papillons. L'allumage en est très facile, l'entretien presque nul, et l'économie de gaz que donneraient des becs à récupération, n'est pas compensée par la difficulté du service et les réparations onéreuses.

Pour les foyers intenses, il est plus important d'économiser le gaz ; les appareils les plus employés sont les becs parisiens et industriels.

Les locaux couverts sont de différentes sortes.

Lorsqu'ils sont vastes, lorsqu'on veut obtenir à la fois un éclairage gai et décoratif, qu'on ne regarde pas trop à la dépense de gaz, qu'on veut un allumage facile, et qu'on peut ménager, à la partie supérieure, des ouvertures de ventilation suffisantes, nous recommandons l'emploi de becs multipliés à flamme libre brûlant sans globes et répartis sur des lustres. La mobilité des flammes n'a aucune influence sur l'éclairement des objets, parce que les oscillations ne sont pas synchrones, et l'on n'est pas exposé à recevoir des débris de verre.

Lorsque les locaux sont plus restreints et ne nécessitent que l'emploi de peu de brûleurs; lorsqu'on veut une lumière fixe comme dans les écoles, les bureaux, etc.,

il faut avoir recours aux bons becs d'Argand munis de réflecteurs, ou bien quand on regarde à la dépense de gaz, aux becs Cromartie, Wenham, etc.

Ces derniers brûleurs, fort économiques, demandent, malheureusement, des soins auxquels on n'est pas habitué quand on fait usage du gaz.

Les becs à incandescence Clamond et Auer peuvent rendre des services dans un grand nombre de cas, mais il ne faut pas songer à en généraliser l'emploi, et à les substituer aux autres brûleurs.

Ils exigent qu'on apporte beaucoup de soins à leur allumage et à leur entretien. Leur teinte blafarde ne produit pas un éclairage gai, mais cette teinte marque la place des becs à incandescence dans tous les cas où l'on a besoin d'une lumière blanche, dans les magasins de nouveautés par exemple. Elle permet de distinguer les couleurs. Elle peut être utilisée par les artistes qui peuvent continuer à peindre le soir, par les médecins dans les laryngoscopes, ophtalmoscopes, etc., etc.

La fixité des becs Auer permet de substituer ces brûleurs aux foyers oxhydriques de Drummond dans les appareils de projection. La lumière de ces brûleurs est suffisamment riche en rayons chimiques, pour qu'on ait pu les appliquer avantageusement en photographie.

Les becs Clamond et surtout les becs Auer nous paraissent devoir faire une concurrence sérieuse à l'arc voltaïque.

CHAPITRE VI

ÉCLAIRAGE PUBLIC ET PRIVÉ

Éclairage public. — Bec généralement adopté. — Hauteur des appareils d'éclairage public. — Candélabres, candélabres-consoles et consoles. — Lanternes. — Becs employés à Paris. — Robinets bascules; rhéomètres. — Allumage. — Candélabres à plusieurs lanternes. — Becs intensifs. — Éclairage public de Paris. — Numéros lumineux.

Éclairage privé. — Introduction du gaz dans les habitations. — Conduites montantes. — Primes. — Fourniture du gaz à l'heure et au compteur. — Compteurs d'abonnés. — Branchements. — Robinets extérieurs. — Canalisations intérieures. — Appareils d'éclairage. — Bras. — Genouillères, Lyres, Tés, Lustres, Suspensions à tirage. — Emploi de régulateurs et de rhéomètres. — Ventilation.

Éclairage public. — Bec généralement adopté. — L'éclairage public de toutes les grandes villes est actuellement presque exclusivement fait au gaz. Depuis une douzaine d'années cependant, des foyers à arc voltaïque ont été employés pour éclairer les places très vastes et certaines rues très fréquentées[1], mais ces

[1] On a substitué récemment, dans quelques rues de Paris, aux papillons des lanternes publiques, des lampes à incandescence électriques. On se rend difficilement compte des motifs qui ont pu pousser à remplacer le gaz par un éclairage d'intensité équivalente, mais beaucoup plus coûteux. La chaleur dégagée par la combustion du gaz et la viciation de l'atmosphère par les produits de cette combustion n'ont aucune importance pour les becs d'éclairage public.

foyers sont encore peu répandus ; et le bec généralement adopté pour l'éclairage public est un brûleur à flamme libre, dont l'intensité est voisine de celle d'une lampe Carcel.

Jusqu'à ces dernières années, on avait complètement proscrit de la voie publique les becs à verre. Ce n'est pas que l'entretien des cheminées soit très onéreux, mais on s'attachait surtout à avoir des foyers présentant une sécurité de fonctionnement absolue, et n'exigeant aucune surveillance pendant le temps où ils sont allumés. L'emploi des becs d'Argand nécessite un personnel qui parcoure constamment les rues, pour remplacer les cheminées brisées. L'allumage de ces becs est plus difficile que celui des papillons. L'économie horaire de 10 à 15 litres, qui résulterait de la substitution de becs d'Argand aux brûleurs à flamme libre, ne compense pas les frais supplémentaires d'un allumage et d'un entretien plus coûteux.

Pour éclairer convenablement une rue, il faut répartir le plus uniformément possible les lanternes publiques dans l'étendue de cette rue. Il est assez rare de trouver à Paris des lanternes distantes de moins de vingt mètres ou de plus de quarante mètres les unes des autres.

Lorsque les rues sont construites des deux côtés, il est avantageux de ne pas placer les appareils d'éclairage les uns en face des autres, mais de les alterner sur les deux trottoirs. On place toujours des lanternes aux points de croisement des rues.

Les appareils qui supportent les lanternes sont de trois sortes.

Lorsque les trottoirs sont suffisamment larges, et qu'on ne craint pas d'entraver la circulation on fait

porter les lanternes par des candélabres, placés à une distance suffisante des bordures pour qu'ils ne soient pas heurtés par les voitures. Cette disposition est la plus satisfaisante au point de vue de la répartition de l'éclairage.

Lorsque le trottoir fait défaut ou qu'il est trop étroit, on place les lanternes sur des consoles encastrées dans les murs des maisons, et alimentées par des plomberies noyées dans les maçonneries des façades.

Quand des fuites se déclarent sur ces plomberies, le gaz peut se répandre à l'intérieur des habitations et y causer des accidents. Pour éviter cet inconvénient on a souvent substitué aux consoles des candélabres consoles.

Hauteur des appareils d'éclairage public. — On attache à Paris une certaine importance à placer les becs sur une même ligne horizontale.

On corrige les dénivellations du sol en donnant aux candélabres des hauteurs différentes. L'effet de ces lignes de feu est très satisfaisant au point de vue décoratif, il n'a aucune importance au point de vue de l'intensité ou de la répartition de l'éclairage.

On peut se demander quelle est la meilleure hauteur à donner aux becs publics.

Considérons (fig. 36) deux lanternes consécutives placées dans une rue à la distance d l'une de l'autre et appelons h la hauteur des lanternes au-dessus du sol. Nous allons déterminer la valeur de h pour que l'éclairement du sol soit le meilleur possible, c'est-à-dire pour que le point M situé à égale distance des lanternes reçoive le maximum d'éclairement.

Nous supposerons que le pouvoir éclairant I des becs

publics employés est sensiblement le même pour toutes les directions. Cette hypothèse se rapproche beaucoup de la réalité pour les becs papillons, ou les bouquets de papillons employés dans les becs d'éclairage public à récupération (becs industriels, parisiens).

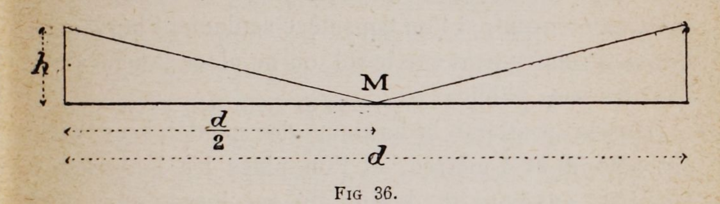


Fig 36.

L'éclairement envoyé, par chacun des becs considérés sur le sol, en M, est égal à I divisé par le carré de la distance du bec à M multiplié par le sinus de l'angle que fait le rayon lumineux avec le sol. On peut exprimer cette distance et son sinus en fonction de h et on obtient ainsi pour l'éclairement du sol en M, l'expression :

$$\frac{\mathrm{I}}{h^2 + \frac{d^2}{4}} \times \frac{h}{\sqrt{h^2 + \frac{d^2}{4}}} = \mathrm{I} \frac{h}{\left(h^2 + \frac{d^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

Pour obtenir la valeur de h correspondante à l'éclairement maximum de M, il faut égaler à zéro la différentielle de cette fonction de h.

$$\left(h^2 + \frac{d^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}} - 3\,h^2 \left(h^2 + \frac{d^2}{4}\right)^{\frac{1}{2}} = 0$$

d'où l'on tire. $h = \frac{d}{\sqrt{8}}$.

Si l'on appliquait cette formule au cas où les becs publics sont, par exemple, distants de 20 mètres les uns des autres, on serait conduit à placer les lanternes à 7 mètres de hauteur. On se heurte aux difficultés pratiques que présenterait une semblable hauteur au point de vue de l'allumage et du nettoyage. Mais cette formule montre que, si l'on considère seulement la répartition de l'éclairement sur le sol, on ne place jamais assez haut les becs publics.

Dans la pratique la hauteur des candélabres varie entre 2^m,50 et 4 mètres, et l'on place les lanternes à 5 mètres environ au dessus du sol lorsqu'elles sont supportées par des consoles.

Généralités sur les candélabres, candélabres-consoles et consoles. — Les appareils qui supportent les lanternes sont, presque généralement, en fonte.

Un candélabre de rue, indépendamment du côté décoratif, doit être suffisamment robuste, et fixé au sol d'une façon assez solide, pour résister aux trépidations de la rue, et pour supporter sans se briser, ni s'incliner, l'échelle sur laquelle l'allumeur doit monter pour le nettoyage et la réparation de la lanterne.

A Paris le nettoyage s'effectue, il est vrai, au moyen d'échelles doubles qui ne sont pas appuyées sur les candélabres. Mais, en raison de la circulation intense qui se produit dans certaines rues, les appareils sont constamment exposés à des chocs violents et doivent par suite présenter une assez grande solidité et une forte stabilité.

Les candélabres constituent des colonnes creuses formées d'une ou deux pièces. La pièce inférieure dite socle est enfoncée dans le sol, elle est généralement scellée dans un massif maçonné.

On a renoncé, d'une façon presque générale, à se servir du candélabre comme conduite de gaz. Cette disposition est en effet vicieuse pour plusieurs raisons.

Elle exige des candélabres absolument étanches, elle expose le gaz, par suite de la forte conductibilité de la fonte, à des refroidissements brusques qui sont des causes d'obstruction par la naphtaline, enfin elle rend assez difficile l'aveuglement des fuites qui se produisent lorsqu'un candélabre se brise.

Le gaz arrive au brûleur par une plomberie qui pénètre dans le socle par une ouverture latérale, elle monte dans le fût du candélabre, et se soude à un raccord en cuivre fixé par des vis sur la tête du candélabre. Sur ce raccord vient se visser la chandelle qui porte le robinet-bascule et le brûleur. Cette chandelle est munie à sa partie inférieure d'un renflement qui maintient la lanterne, en serrant les croisillons sur la tête du candélabre.

Le plomb qui alimente les becs publics de Paris a 27 millimètres de diamètre intérieur. Cette section est beaucoup trop forte si l'on ne considère que le débit du brûleur, mais il faut éviter que cette plomberie ne soit trop fréquemment obstruée par la naphtaline. Placée en effet dans une enveloppe métallique, elle est fort exposée aux refroidissements.

Les candélabres des quartiers riches de Paris sont recouverts d'une couche de cuivre déposée par les procédés galvano-plastiques Oudry. On les maintient propres, en les cirant une fois par mois.

Les candélabres des quartiers excentriques sont recouverts d'une peinture qu'on renouvelle tous les ans.

Dans les candélabres et les candélabres-consoles, la fonte assez résistante protège la plomberie contre la malveillance. Du reste les fuites qui viendraient à se déclarer sur cette plomberie, auraient difficilement des conséquences dangereuses si le candélabre est suffisamment ventilé. On a pu ainsi renoncer à placer un robinet à l'origine de cette plomberie.

Nous avons vu que la plomberie d'alimentation des lanternes sur consoles était noyée dans la maçonnerie des façades. Lorsque des fuites s'y produisent, le gaz peut se répandre à l'intérieur des habitations et y provoquer des accidents. Pour éviter cet inconvénient, on place à la suite du branchement un robinet chef disposé dans un coffret. Ce coffret est fermé par une porte. Le fond doit en être étanche, pour empêcher le gaz en cas de fuite au boisseau du robinet, de s'infiltrer dans les maçonneries.

Les consoles sont placées à des hauteurs plus grandes que les candélabres-consoles, au-dessus des trottoirs, souvent trop étroits pour permettre la pose d'échelles doubles.

Le scellement dans le mur doit être suffisant, pour que l'allumeur puisse appuyer une échelle simple. Il est utile de vérifier périodiquement la solidité de ce scellement.

Lanternes. — Les lanternes sont des cages vitrées destinées à mettre les flammes à l'abri de l'action du vent. Elles doivent être munies d'ouvertures suffisantes pour permettre l'introduction de l'air de la combustion, et l'évacuation des gaz brûlés.

Les lanternes employées dans les rues de Paris sont de deux catégories principales. Dans les quartiers riches

elles sont rondes, dans les quartiers excentriques elles sont carrées.

Le remplacement des verres bombés est en effet beaucoup plus onéreux que celui des verres plans[1].

Les verres sont soutenus par quatre montants pour rendre étanches les joints avec les montants, on a l'habitude à Paris de mastiquer les verres.

L'un des quatre verres latéraux des lanternes est monté sur une porte que l'allumeur ouvre pour le nettoyage. Le fond vitré de la lanterne est muni d'une petite petite porte dite *trapillon*, qui permet le passage de la lampe d'allumage.

Le nettoyage des verres des lanternes est généralement effectué par le personnel chargé de l'allumage et de l'extinction. Le traité passé entre la ville de Paris et la Compagnie Parisienne stipule que ce nettoyage doit être exécuté tous les jours.

BECS EMPLOYÉS A PARIS, ROBINETS, BASCULES, RHÉOMÈTRES. — Le traité de la Compagnie Parisienne du gaz prévoit trois séries de becs publics, un bec de 100 litres, un de 140 et un de 200 litres.

Le bec de la première série n'est employé que pour l'éclairage des colonnes-affiches ; c'est un bec-papillon à fente de 4 dixièmes de millimètre, dont la flamme a 4 centimètres de large sur 5 centimètres de hauteur.

Le bec de la troisième série n'est pas employé, c'est celui de la deuxième qui est placé dans tous les appareils de la voie publique, candélabres et consoles, kios-

1 Le remplacement des verres constitue la partie la plus onéreuse de l'entretien des appareils publics. La *Compagnie Parisienne* reçoit de la Ville de Paris, pour les appareils riches munis de lanternes rondes, un supplément journalier de fr. 0, 025 par appareil.

ques de journaux et urinoirs. A la suite des essais de MM. Audouin et Bérard, on a adopté, comme bec de cette série un papillon en fonte, à fente de 6 dixièmes de millimètre de largeur. La flamme a 6 centimètres de hauteur sur 7 centimètres de largeur.

Les becs publics sont commandés par un robinet, dont la clé est munie d'une bascule facilement manœuvrable par la perche de l'allumeur.

Le gaz des lanternes publiques est, d'une façon presque générale, payé à l'heure. Dans quelques villes cependant, sur un petit nombre d'appareils, on place des compteurs. La moyenne de consommation observée sert de base pour évaluer la dépense de tous les autres becs; cette complication est inutile. Il suffit de vérifier que tous les becs sont bien conformes au type adopté, et que, lorsqu'ils sont allumés, les dimensions des flammes sont bien celles qui correspondent à la consommation réglementaire.

Dans un assez grand nombre de villes, pour épargner à l'allumeur le règlement de la flamme par le robinet-bascule, on place au-dessus des becs, des rhéomètres que nous avons décrits dans un précédent chapitre, et qui rendent le débit du brûleur indépendant de la pression.

L'allumeur peut alors ouvrir complètement le robinet.

Nous croyons pouvoir recommander l'emploi de ces rhéomètres dans les petites villes, quand on dispose d'un petit nombre d'allumeurs, et qu'on est exposé à remplacer un de ces allumeurs manquant par un agent inexpérimenté.

Il faut seulement avoir le soin de placer le rhéomètre à l'intérieur de la lanterne, de manière à ce qu'il

s'échauffe légèrement par conductibilité. On évite, par cet échauffement, les obstructions de naphtaline.

A Paris, l'administration municipale a toujours rejeté l'emploi des rhéomètres. Elle préfère que le règlement de la flamme soit effectué par le personnel d'allumeurs habiles que possède la Compagnie Parisienne.

On règle le bec à l'allumage, à un débit légèrement supérieur à la consommation réglementaire. Ce débit diminue automatiquement après minuit, sous l'influence de l'abaissement de la pression dans le réseau général. La moyenne de la consommation horaire est bien celle prévue par le traité, mais la ville de Paris obtient ainsi, sans supplément de frais, un éclairage plus intense pendant les premières heures de la nuit.

Nous avons vu que la plomberie des candélabres avait, à Paris, un diamètre beaucoup plus fort que ne l'indiquerait la seule considération du débit du bec. L'allumeur est donc obligé de serrer très fortement le robinet-bascule.

Cet étranglement du passage du gaz était une cause incessante d'obstructions par la naphtaline jusqu'à ce qu'on ait eu l'idée de placer le robinet-bascule à l'intérieur de la lanterne. Malheureusement, les consoles sont beaucoup trop hautes pour permettre la manœuvre d'un robinet intérieur. On a donc été obligé, pour ces appareils, de laisser la bascule à l'extérieur. Aussi le fonctionnement des becs sur consoles laisse-t-il quelques fois à désirer, pendant les temps froids.

A Paris, les bascules des robinets sont disposées de telle sorte que le robinet tende à s'ouvrir, plutôt qu'à se fermer, sous l'influence des trépidations du sol.

Allumage. — On a commencé par allumer les becs publics au moyen de lampes à main ; l'allumeur était obligé de monter à l'échelle. Ce procédé long et fatigant, mais qui permet de mieux régler la flamme, était, il n'y a pas encore fort longtemps, d'un usage général à Londres.

Actuellement, l'allumage s'effectue partout au moyen de petites lampes à huile de colza placées au bout d'une perche et enveloppées d'un capuchon perforé, empêchant l'extinction de la flamme par le vent. L'allumeur introduit la lampe par le trapillon de la lanterne. Un crochet placé sur le capuchon permet la manœuvre du trapillon et de la bascule.

Candélabres a plusieurs lanternes. — Becs intensifs. — Les brûleurs de 140 litres ne sont pas suffisants pour éclairer les rues larges, les vastes places où les besoins de la circulation ne permettent pas de multiplier les candélabres.

Avant 1878, on suppléait, à Paris, à cette insuffisance, soit en plaçant deux becs dans une même lanterne, comme on l'a fait, par exemple, sur la place de l'Étoile, soit en construisant des candélabres à plusieurs lanternes. Les appareils les plus répandus sont les candélabres à trois branches pour les rues larges, et les candélabres-refuges à cinq lanternes pour les places et carrefours.

Cette solution, fort satisfaisante au point de vue décoratif, n'est pas rationnelle au point de vue du prix d'entretien des appareils, et surtout de la meilleure utilisation du gaz.

Dans les candélabres à plusieurs lanternes, en effet, l'éclairement total envoyé dans une direction n'est pas

égal à la somme des éclairements envoyés par chacun des brûleurs. Les nombreux montants des lanternes cachent une partie des flammes ; on peut se rendre compte de ce fait en regardant, par exemple, un candélabre-refuge à cinq lanternes. En quelque point qu'on se place, il est rare qu'on aperçoive plus de quatre flammes.

Il est beaucoup préférable, au point de vue du prix de revient de l'éclairage, d'employer des lanternes uniques et des brûleurs à fort débit. Le rendement lumineux croît, en effet, assez rapidement avec la consommation du brûleur.

En 1879, la Compagnie Parisienne désireuse de montrer que le gaz pouvait satisfaire, aussi bien que l'arc voltaïque, aux besoins d'un éclairage public intense, a créé le modèle de bec dit du *Quatre-Septembre*, et qui a été décrit dans un précédent chapitre. Nous avons expliqué que la répartition de l'éclairement produit par cet appareil était fort satisfaisante, mais la dépense de 1400 litres à l'heure est trop forte pour permettre l'emploi de ce brûleur, autre part que sur les places et carrefours très fréquentés.

La Compagnie Parisienne, sur les données qui lui ont servi à établir le brûleur de 1400 litres, a construit un type consommant 875 litres à l'heure. Le fonctionnement de ce type réduit est beaucoup moins satisfaisant, Les flammes se tiennent mal par les grands vents et les verres se brisent fréquemment sous l'influence de la pluie.

A la suite des essais d'éclairage public entrepris par la Compagnie parisienne avec des appareils à forte consommation, on s'est préoccupé de réduire cette dépense,

en employant des becs à meilleur rendement que les becs à flamme libre. En 1880, on a essayé d'appliquer à l'éclairage public le principe de la récupération inventé par Chaussenot et mis en pratique par M. F. Siemens. La place du Palais-Royal, à Paris, a été éclairée par quatre foyers Siemens de 1600 litres, pour lesquels la Compagnie parisienne avait étudié des lanternes spéciales. Mais ces brûleurs Siemens sont beaucoup trop sensibles au vent, l'entretien en est beaucoup trop onéreux, pour permettre une application courante à l'éclairage public. Ils ne sont presque plus usités en France.

Les seuls becs à récupération qui soient assez répandus dans les grandes villes de France, sont les types d'appareils tels que le *parisien* ou l'*industriel*, formés d'un groupe de brûleurs à flamme plate, enfermés dans une verrine et alimentés par de l'air chaud. Le débit de ces brûleurs, qui ont été décrits dans le chapitre précédent, varie entre 225 litres et 1250 litres.

Tous les brûleurs à récupération sont des becs à verre qu'il est indispensable de régler à un débit constant ; en effet, quand on dépasse ce débit, ils fument. La verrine empêche l'allumage à la perche.

L'emploi d'un rhéomètre sec, placé à l'intérieur de la lanterne, remédie au premier inconvénient. On résoud la question d'allumage en disposant un petit bec-bougie consommant une quinzaine de litres à l'heure, qu'on maintient constamment allumé.

Il suffit donc d'ouvrir complètement le robinet-bascule pour que le bec s'enflamme et soit réglé.

La consommation de la veilleuse n'est négligeable, par rapport à la consommation de l'appareil, que pour

les becs à fort débit. D'autre part, l'économie qui résulte de la récupération n'est très sensible que pour les becs un peu puissants. Pour les petits becs, cette économie ne compense pas la complication et les frais d'entretien d'un appareil à verre.

Nous ne croyons donc pas qu'il faille chercher à placer dans les rues des brûleurs à air chaud de moins de 4 à 500 litres de consommation. Pour des intensités plus faibles, il est préférable d'avoir recours à des papillons de forte consommation.

Éclairage public de Paris. — Les rues de Paris sont éclairées, au 1er mars 1891, par 50.791 becs de 140 litres et 1967 becs intensifs de différents modèles, dont 807 de 1400 litres, 360 de 875 litres et 800 brûleurs parisiens et industriels.

Le service d'allumage et de nettoyage de ces 53.000 appareils publics est exécuté par un personnel spécial. Chaque allumeur doit allumer, éteindre et nettoyer une ligne de 65 à 70 lanternes.

Il allume, en quarante minutes, sa ligne, en suivant un itinéraire qui a été approuvé par l'Administration municipale. Les heures d'allumage et d'extinction sont fixées dans un tableau dressé par l'Administration. L'allumage est commencé vingt minutes, et l'extinction dix minutes avant les heures portées sur ce tableau.

Un certain nombre de ces becs sont éteints à minuit et demi, la plus grande partie restent allumés jusqu'au matin.

Les becs permanents sont allumés à Paris pendant 3.749 heures 45 minutes par an.

Dans la plupart des villes de France, pour diminuer la dépense d'éclairage public, on n'allume pas les becs

pendant un certain nombre de jours voisins de la pleine lune. Cette manière de procéder qui a des inconvénients lorsque le temps est couvert, n'est pas appliquée à Paris.

Numéros lumineux. — Depuis quelque temps, on a disposé au-dessus des portes d'entrée de certaines maisons des lanternes qui permettent de reconnaître, la nuit, le numéro de la maison. Ces lanternes sont éclairées par des becs-bougie dépensant 25 litres à l'heure. Le service d'allumage et d'extinction des appareils à numéros lumineux est exécuté par le personnel de la Compagnie Parisienne, aux conditions indiquées dans une police spéciale.

Éclairage privé. — Introduction du gaz dans les habitations. — Conduites montantes. — Primes. — Le gaz d'éclairage est distribué dans toutes les grandes villes par des conduites souterraines, qui sillonnent la presque totalité des rues principales ; aux termes des traités qui lient les compagnies de gaz avec les municipalités, ces compagnies sont tenues de fournir, à des prix déterminés, du gaz à tout consommateur habitant une rue canalisée et qui contracte un abonnement d'une certaine durée.

Les conditions de cet abonnement sont généralement indiquées dans une *police*, dont les clauses ont été approuvées par l'Administration municipale, et que l'abonné signe avant de faire usage du gaz.

Dans presque toute la France, le texte des polices est, dans ses grandes lignes, copié sur la police de Paris. En général, la durée minimum d'abonnement que la compagnie est en droit d'exiger est très faible (3 mois à Paris), et aucune clause n'oblige l'abonné à

consommer, pendant cette courte période, une quantité déterminée de gaz.

La signature d'une police ne constitue donc pas, pour la compagnie, l'assurance de toucher une certaine recette, elle ne doit donc lui imposer aucune dépense. Aussi toutes les polices laissent-elles à la charge de l'abonné tous les frais de branchement, de compteur et d'installation intérieure.

Les premiers clients des compagnies de gaz ont été des consommateurs auxquels le gaz offrait, au point de vue de la commodité et de l'économie réalisée, des avantages tels, qu'ils ne regardaient pas à supporter la dépense première d'une installation souvent fort onéreuse. Lorsque cette première catégorie de consommateurs a été satisfaite, on s'est trouvé en présence d'une seconde couche pour qui le gaz était fort avantageux, mais qui était arrêtée par les frais et les difficultés d'installation. Aussi, sous peine de voir leurs recettes rester stationnaires, ou même baisser sous l'influence de la concurrence causée par l'éclairage électrique et surtout le pétrole, presque toutes les compagnies ont-elles cherché des combinaisons pour atténuer les frais d'installation intérieure, laissés par les polices à la charge des abonnés.

Certaines usines fournissent en location des installations intérieures à des prix très réduits. Nous citerons, par exemple, l'une des compagnies qui éclairent la ville de Rouen. Sans diminuer le prix du gaz, mais en faisant payer chaque semaine le gaz consommé, et en ne demandant, pour la location des appareils, qu'une faible rétribution hebdomadaire, elle a montré que le gaz pouvait rendre les plus grands services à la population ouvrière.

Les ouvriers n'ont, en effet, que peu de temps à consacrer aux soins du ménage, ils ont besoin instantanément de lumière et de chaleur. Ils dépensent leur salaire à mesure qu'ils le gagnent, ils ont rarement à leur disposition des sommes d'argent un peu importantes. La compagnie de Rouen a tourné cette difficulté spéciale en réduisant le montant des factures par un encaissement plus fréquent.

Nous avons cité l'exemple de Rouen pour montrer qu'il ne peut exister de règles absolues sur les moyens les plus propres à généraliser l'emploi du gaz. Les mesures que doivent prendre les compagnies de gaz dépendent de la nature des clients auxquels elles s'adressent et de certaines circonstances locales. Nous allons indiquer succinctement les principes qui ont guidé la *Compagnie Parisienne du Gaz* et les moyens qu'elle a employés pour atténuer, pour les abonnés, les frais d'installation intérieure.

L'appareillage à gaz constitue à Paris une industrie importante, que la *Compagnie Parisienne* a toujours considérée comme une auxiliaire et aux intérêts de laquelle elle ne veut porter aucun préjudice. Aussi s'est-elle toujours abstenue de faire exécuter en régie, par ses ouvriers, la pose des plomberies et des appareils dans les maisons où elle désirait introduire le gaz.

Lorsqu'elle a désiré que les canalisations intérieures restassent sa propriété[1], lorsque, par suite, elle a conservé la responsabilité de ces canalisations au point de vue de la bonne exécution et de l'entretien, elle

1 C'est le cas des conduites montantes.

en a confié la pose à des maisons d'appareillages sérieuses, qui lui présentaient toute garantie, et elle en a soldé le montant, suivant un tarif accepté par l'entrepreneur.

Lorsqu'au contraire elle a abandonné la propriété des appareils et de la plomberie intérieure, elle laisse au consommateur de gaz la faculté de prendre un appareilleur de son choix, et elle entre pour des sommes fixes ou primes, dans les frais de l'installation.

La *Compagnie Parisienne* n'a pas créé tout d'une pièce le système qu'elle suit aujourd'hui pour développer l'usage du gaz ; elle a pris une série de mesures successives, augmentant ses sacrifices au fur et à mesure qu'elle s'adressait à des séries de consommateurs plus rebelles.

Le premier grand obstacle qu'elle a rencontré à l'introduction du gaz dans les habitations, consiste dans la distance qui sépare, à Paris, le local à éclairer des conduites de la rue.

Pour faciliter l'emploi du gaz dans les étages supérieurs, elle a été amenée, depuis plus de trente ans, à poser à ses frais, dans un grand nombre de maisons, des *conduites* dites *montantes*, sur lesquelles sont pris les branchements destinés aux locataires. Ces conduites montantes, dont la Compagnie conserve la propriété, sont constituées par des canalisations en plomb, branchées sur les conduites de la rue. Elles sont exécutées par la maison d'appareillage agréée comme entrepreneur, qui obtient du propriétaire de l'immeuble les autorisations indispensables.

Les conduites montantes sont commandées par un robinet chef, encastré dans la façade et sont, du reste,

soumises en ce qui concerne la pose et la mise en service, aux règlements de police qui régissent les installations intérieures.

La *Compagnie Parisienne* n'exige du propriétaire, pour la pose d'une conduite montante, qu'un engagement de conserver cette conduite pendant 10 ans. Comme elle n'a aucun privilège pour ces conduites montantes et qu'elle n'est pas obligée à en installer, elle se réserve d'examiner toutes les demandes qui lui sont adressées à ce sujet, et d'y donner suite quand le produit de l'éclairage lui paraît rémunérateur.

Le nombre des conduites montantes, installées au 31 décembre 1890, s'est élevé à 30.230, réparties dans 23.690 maisons.

Pour faciliter l'introduction du gaz dans les étages inférieurs, souvent éloignés des conduites souterraines, la *Compagnie Parisienne*, dès le début de son exploitation, a offert aux abonnés de fournir en location les branchements nécessaires. Son traité ne l'oblige pas à cette location, elle peut donc en faire l'objet de stipulations spéciales. Elle demande un abonnement de trois ans ou, à son défaut, un engagement de payer pendant trois ans le montant des locations du branchement.

Les sacrifices précédents, qui ont eu pour résultat d'amener, presque sans frais pour le consommateur, le gaz à l'entrée du local à éclairer, ont été reconnus insuffisants, surtout lorsque l'éclairage au gaz s'est propagé dans des intérieurs modestes. La Compagnie a dû participer aux frais d'installation intérieure par l'allocation de primes soit au consommateur, soit à l'appareilleur.

Lorsqu'un locataire veut prendre le gaz sur une

conduite montante, dans un appartement qui n'a jamais été éclairé, il peut recevoir de la Compagnie une prime de 30 francs et il conserve la propriété complète de l'installation. Il est libre de l'enlever quand il déménage.

La Compagnie accorde une prime de 50 francs[1], aux appareilleurs agréés par elle, qui se chargent d'établir à leurs frais, risques et périls, à la condition d'en faire l'abandon gratuit au propriétaire, un appareillage de deux becs qui reste la propriété de ce dernier.

Pour développer la cuisine au gaz, la Compagnie a été, de plus, amenée dans ces derniers temps, à fournir gratuitement, à titre de prêt, un fourneau de cuisine, d'un modèle spécial, comportant deux trous et une grillade. Elle a prêté, en quatre ans, 120.000 de ces fourneaux.

Nous remarquerons que, sauf en ce qui concerne la location des branchements sur rue (mesure qui s'adresse aux boutiquiers), la Compagnie n'a jamais demandé, en échange de ses sacrifices, un engagement de faire usage du gaz pendant plus de trois mois, durée stipulée dans la police. On change fréquemment de domicile à Paris, et toute mesure qui rendrait nécessaire un abonnement d'une certaine durée n'aurait aucun résultat.

Fourniture du gaz a l'heure et au compteur. — Dans l'origine de l'éclairage au gaz, il n'y avait aucun moyen de mesurer le gaz consommé par les abonnés, on évaluait la consommation d'après le calibre des brû-

[1] Cette somme de 50 francs constitue en réalité le paiement intégral à forfait de l'installation intérieure.

leurs et la durée de l'allumage. Cette méthode était nuisible pour tout le monde. Les abonnés qui usaient du gaz avec discrétion et dans le temps convenu, payaient autant aux compagnies que les abonnés peu scrupuleux, qui consommaient le gaz d'une façon immodérée l'usage du gaz ne se serait certainement pas généralisé, si l'on n'avait pas trouvé un instrument susceptible de mesurer d'une façon précise le nombre de mètres cubes brûlés par chaque abonné. Cet instrument est dû à S. Clegg, qui construisit, vers l'année 1815, les premiers compteurs à gaz.

Néanmoins, les compagnies sont amenées, dans quelques cas, à fournir du gaz à l'heure, sans compteur. Nous citerons, par exemple, certaines rampes d'illuminations, trop rarement allumées pour que la compagnie puisse exiger la pose, très onéreuse, d'un compteur de forte capacité.

Certains motifs lumineux, placés sur la voie publique, doivent être également alimentés par du gaz pris directement sur les conduites souterraines, faute d'emplacement possible pour un compteur.

Dans ces cas particuliers, la consommation horaire de l'appareil est déterminée par des essais contradictoires faits en présence d'agents des compagnies et des consommateurs. Les heures d'allumage et d'extinction servent alors de base à l'établissement des factures.

Il est à remarquer que le traité de la *Compagnie Parisienne du Gaz* avec la ville de Paris comme, du reste, la plupart des traités de compagnies de gaz en France, ne prévoit aucun prix pour le gaz fourni à l'heure aux particuliers.

Les Compagnies de gaz sont généralement libres de

facturer à des prix plus élevés du gaz dont la livraison faite à des conditions exceptionnelles exige une surveillance spéciale.

Les stipulations de prix, portées dans tous les traités, ne s'appliquent qu'aux fournitures de gaz faites au compteur.

COMPTEURS D'ABONNÉS. — Il existe deux sortes de compteurs, les *compteurs secs*, qui ne renferment aucun liquide, et les *compteurs humides*, qui contiennent une certaine quantité d'eau.

Les compteurs secs sont les moins précis; ils sont cependant fort répandus en Angleterre et en Allemagne. Ils ne sont presque plus usités en France. Un arrêté préfectoral, en date du 20 décembre 1871, en a interdit le poinçonnage à Paris.

La présence de l'eau dans les compteurs humides, entraîne la nécessité d'un nivellement périodique, presque toujours mensuel. Malgré cette sujétion, ils sont les seuls employés en France; nous nous bornerons donc à leur description.

L'organe essentiel du compteur est le volant. C'est un cylindre circulaire, horizontal, en étain durci par de l'antimoine, ou en tôle de fer, qui peut tourner autour de son axe dans une caisse cylindrique, contenant de l'eau. A la partie supérieure de la caisse cylindrique, est soudé un raccord sur lequel vient aboutir la plomberie intérieure de l'abonné.

Le volant est divisé en quatre parties égales par des cloisons planes, passant par le milieu de l'axe et disposées obliquement par rapport à cet axe (fig. 37 et fig. 38), les cloisons ou ailettes ne se prolongent pas jusqu'à l'axe, elles sont limitées par un cylindre idéal,

concentrique à la virole du volant. Ce cylindre idéal est, comme nous le verrons plus loin, constamment sous l'eau.

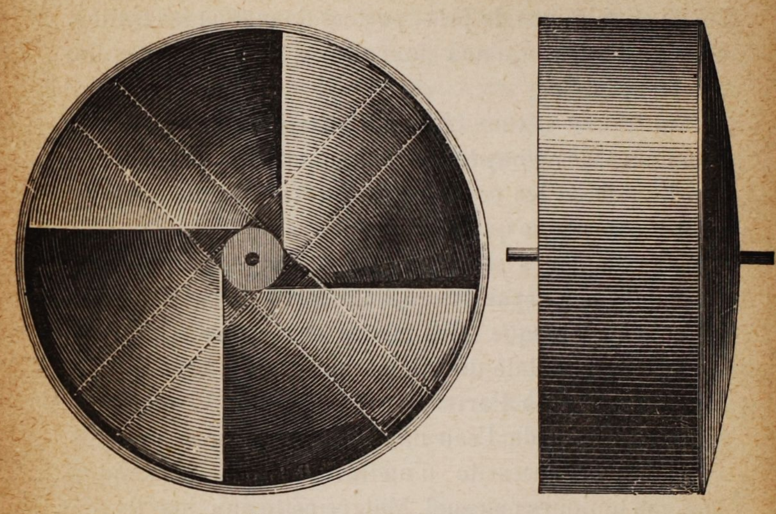


Fig. 37 et 38. — Volant du compteur à gaz.

Les quatres compartiments du volant sont terminés à la partie antérieure et à la partie postérieure, par des secteurs circulaires, à surface sensiblement plane. Ces secteurs sont parallèles entre eux et forment avec la section droite du cylindre un angle très aigu.

Le volant se trouve ainsi divisé en quatre chambres, séparées l'une de l'autre par les ailettes auxquelles sont soudés les secteurs dont nous venons de parler. L'orifice d'entrée du gaz dans chacune de ces quatre chambres, est constitué par une fente placée à la partie antérieure du volant, et l'orifice de sortie par une autre fente placée à la partie postérieure. Le volant plonge

dans de l'eau dont le niveau est situé à quelques centimètres au-dessus du cylindre idéal qui limite les cloisons. Lorsque la fente d'entrée de l'un des compartiments émerge de l'eau, la fente de sortie est immergée et réciproquement.

Le volant est terminé, à sa partie antérieure, par une calotte sphérique percée à son sommet d'une ouverture circulaire. Cette ouverture, placée sous l'eau, laisse passer la branche postérieure d'un tube recourbé en U ou siphon, qui amène le gaz dans le volant. Les branches de ce siphon doivent s'élever suffisamment au-dessus du niveau de l'eau, pour que, dans aucun cas, l'eau n'y puisse pénétrer et intercepter le passage du gaz. Il existe, du reste, à la partie inférieure du siphon, un orifice de vidange fermé par une vis qui permet l'évacuation des condensations.

Lorsqu'on fait arriver le gaz par le siphon, et que l'on fait communiquer la partie postérieure du volant avec l'atmosphère en ouvrant les robinets des brûleurs intérieurs, les cloisons se trouvent soumises d'un côté à la pression atmosphérique et de l'autre côté à la force élastique du gaz. La différence des composantes perpendiculaires à l'axe de ces deux forces élastiques détermine un mouvement de rotation du volant, rotation en vertu de laquelle les quatre chambres se remplissent successivement de gaz, et le déversent dans la canalisation intérieure de l'abonné.

Au bout d'un temps fort court, le mouvement de rotation deviendra uniforme ; le gaz parviendra dans la plomberie intérieure, à une pression dépendant des résistances qu'il rencontre dans cette plomberie et du débit des brûleurs. La pression à la sortie du compteur

restera légèrement inférieure à la pression du gaz de l'entrée. La rotation du volant exige en effet un certain effort qui absorbe une partie de la pression du gaz pour vaincre les résistances suivantes :

1° L'inertie de la masse d'eau que le volant met en mouvement ;

2° Le frottement de l'axe contre ses pivots, et les frottements des engrenages enregistreurs, dont il sera question plus loin. L'intensité de ces résistances et la pression absorbée qui en est la conséquence, augmentent avec la vitesse de rotation du volant et, par suite, avec le volume débité [1].

La pression absorbée par le compteur, se traduit par un dénivellement de l'eau, qui s'abaisse dans les compartiments en relation avec l'entrée du gaz, et s'élève dans ceux qui communiquent avec la sortie.

Le volant du compteur est donc essentiellement composé de quatre chambres limitées par la virole, les cloisons et le niveau de l'eau, accouplées de telle sorte que, dans aucune position une de ces chambres ne communique à la fois avec l'entrée et la sortie du compteur. Les fentes d'entrée et de sortie de ces chambres sont orientées de manière à ce que leur immersion et leur émersion soient progressives, qu'il y ait toujours deux chambres en communication avec l'entrée du compteur, et deux autres en communication avec la sortie, sauf dans les courtes périodes de la rotation, où l'entrée et la sortie d'une des chambres sont simultanément sous l'eau.

[1] D'après le règlement préfectoral du 26 avril 1866, les compteurs d'abonnés au débit normal ne devraient pas absorber à Paris plus de 3 millimètres de pression. Cette prescription est impossible à remplir dans les compteurs supérieurs à 10 becs.

La fente d'entrée et la fente de sortie des deux chambres contiguës sont alors complètement en dehors de l'eau.

Le volant peut, grâce à ces dispositions, débiter un courant continu de gaz sans oscillation sensible dans la pression de sortie. Si le niveau de l'eau est bien maintenu constant dans les chambres en relation avec l'arrivée du gaz, si par suite le volume de ces chambres reste invariable, il est évident qu'il suffit de compter le nombre de leurs emplissages successifs, et par suite le nombre des tours du volant, pour en déduire le volume de gaz qui a passé par le compteur.

L'enregistrement du nombre de tours se produit automatiquement, au moyen d'engrenages qui sont mus par l'axe du volant et font mouvoir des aiguilles sur des cadrans gradués. Les engrenages sont calculés de manière à exprimer en mètres cubes les indications des cadrans.

Ces cadrans sont au nombre de trois ou quatre, suivant les capacités du compteur. Ils sont gradués de zéro à neuf, le cadran de droite indique le nombre de mètres cubes, le suivant les dizaines de mètres et ainsi de suite. De plus un tambour horizontal, mu par les engrenages enregistreurs, permet de connaître le nombre de litres qui traverse le compteur (fig. 39).

Le relevé des indications du compteur s'opère en inscrivant dans l'ordre des cadrans le plus petit des deux chiffres entre lesquels se trouve placée chacune des aiguilles (le relevé de la figure, par exemple, est 237 mètres). La consommation de gaz d'un abonné s'obtient en soustrayant l'un de l'autre deux relevés faits à la fin de deux mois consécutifs. Il résulte de cette méthode qu'une erreur dans le relevé n'a aucune importance pour l'abonné.

Elle entraîne en effet, dans le montant de la facture, une erreur qui sera compensée par une autre erreur égale et de sens contraire, dans la facture du mois suivant.

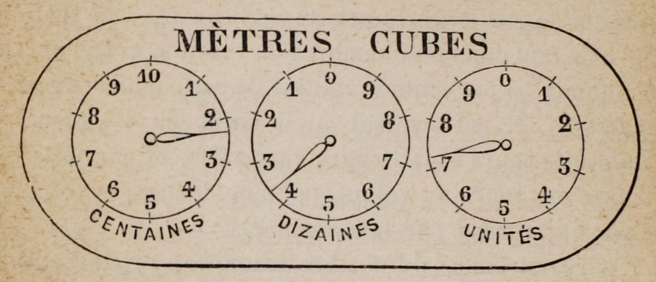


FIG. 39. — Cadrans du compteur à gaz.

L'exactitude du mesurage d'un compteur est basée sur l'invariabilité du niveau de l'eau dans les chambres du volant en relation avec l'entrée du gaz. Le compteur doit donc être muni d'un orifice pour permettre l'introduction de l'eau, et d'un autre orifice pour permettre l'écoulement de l'eau introduite en excès. Ces deux orifices sont, comme l'orifice de vidange du siphon, fermés par des vis. Dans un but de sécurité, l'arrêté préfectoral en date du 26 avril 1866, qui règle à Paris les conditions que doivent remplir les compteurs à gaz, prescrit de munir ces trois orifices de gardes d'eau suffisantes. Le gaz sous une pression de 10 c/m ne doit pas s'échapper à l'extérieur du compteur lorsque les vis obturatrices ne sont pas en place.

Les compteurs de faible capacité, sont munis d'un flotteur qui intercepte le passage du gaz, quand le niveau d'eau est trop abaissé.

La puissance des compteurs d'abonnés qui doit être

en rapport avec la consommation maxima[1] est exprimée en becs pour lesquels on admet un débit horaire de 140 litres (cinq pieds cubes anglais).

L'étendue restreinte de cet ouvrage ne nous permet pas de décrire en détail tous les organes du compteur et d'indiquer les perfectionnements qui ont été imaginés,

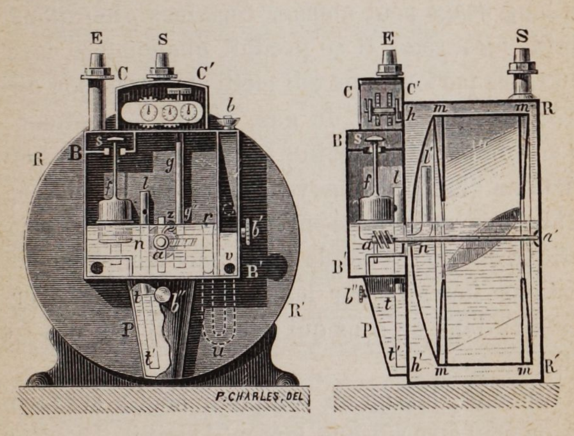


Fig. 40 et 41. — Compteur à gaz.

E, tubulure d'entrée du gaz. — S, tubulure de sortie. — *hh'* RR', caisse cylindrique. — *mm*, volant. — *aa'*, axe du volant. — *ll' tt'*, siphon. — P, garde du siphon. — *fs*, flotteur et sa soupape. — *r*, *u*, *v*, régulateur du niveau de l'eau. — *cc'*, boîte des cadrans. — *gg'*, manchon. — *b*, orifice d'introduction de l'eau — *b'*, orifice du trop plein. — *b''*, orifice de vidange du siphon.

soit pour rendre invariable le niveau de l'eau, soit pour permettre une légère variation dans le niveau sans que les indications soient viciées. Ces compteurs perfec-

[1] Nous avons vu en effet que, lorsqu'on exagérait le volume de gaz débité par un compteur, les capacités mesurantes du volant augmentaient ; par suite quand on alimente un éclairage par un compteur trop faible, le relevé donne des indications inférieures à la consommation réelle.

tionnés sont encore peu répandus, les figures 40 et 41 représentent le compteur presque exclusivement employé à Paris.

Nous ferons remarquer que cet instrument est excessivement précis, la tolérance dans les erreurs d'indications ne doit pas dépasser 1 pour 100.

Un long usage peut amener certaines altérations qui vicient le mesurage. Il se produit quelquefois dans les métaux, des perforations qui mettent en relation directe l'entrée avec la sortie du gaz, et qui permettent par suite au compteur de débiter sans que le volant tourne. Des actions chimiques peuvent entraîner des désengrènements dans les organes enregistreurs. Toutes ces détériorations ont pour effet de supprimer complètement les indications fournies par les cadrans, ou d'altérer ces indications dans un sens qui lèse les intérêts des Compagnies du gaz.

En un mot, lorsqu'un compteur neuf a été reconnu exact, on peut être sûr que, lorsqu'il vieillit, il continuera à donner ou des indications exactes, ou des indications trop faibles.

Toutes ces garanties que présentent pour les abonnés les compteurs à gaz ont permis, dans certains pays comme l'Allemagne, de les assimiler aux autres mesures légales soumises au poinçonnage de l'État.

En France, l'État n'a pas cru devoir jusqu'à ce jour, s'occuper d'un instrument de mesure pourtant très répandu, les municipalités ont donc dû, dans leurs traités avec les Compagnies de gaz, édicter certaines stipulations pour éviter aux abonnés des contestations sur le montant de leur consommation.

Quelques grandes villes ont installé des services de

poinçonnage pour lequel elles perçoivent des taxes. A Paris, aucun compteur ne peut être mis en service, sans avoir été préalablement essayé par des agents de la Préfecture de la Seine, qui apposent des cachets spéciaux lorsque la vérification donne des résultats satisfaisants.

Le choix du meilleur emplacement à donner au compteur n'est pas indifférent. Le gaz, dans son passage à travers cet instrument, y rencontre certains obstacles, est soumis à certains chocs qui favorisent les dépôts de naphtaline. Il faut donc éviter de placer les compteurs dans des locaux comme des sous-sols, où le courant gazeux serait exposé à un brusque refroidissement.

La présence de l'eau entraîne certaines sujétions dont il faut tenir compte dans le choix de l'emplacement.

Le compteur doit être placé bien horizontalement, on le visse généralement sur une planchette scellée au sol.

L'accès doit en être facile de manière à ne pas entraver le nivellement. Il faut prévoir les effets d'évaporation de l'eau, qui peut se condenser dans les canalisations intérieures, et amener des troubles dans l'éclairage.

Il faut, surtout lorsque le compteur est situé dans un endroit chaud comme la cuisine, placer cet instrument le plus bas possible, de manière à ce que les canalisations intérieures ramènent dans le compteur les condensations.

Enfin il faut se mettre en garde contre la gelée [1]. Quand il est impossible de trouver un emplacement où la température ne s'abaisse jamais au dessous de 0°, il

[1] Toutes les polices en France stipulent que les Compagnies ne sont pas responsable de la gelée.

faut envelopper le compteur de feutre ou d'autres substances mauvaises conductrices de la chaleur.

Le mélange à l'eau de certains corps, comme la glycérine, ou l'alcool, qui retardent le point de congélation, a été recommandé, mais il présente certains inconvénients. La glycérine attaque à la longue les métaux du compteur, l'alcool est trop volatil et entraîne des abaissements trop fréquents du niveau de l'eau. On s'est trouvé fort bien dans certaines villes comme Bruxelles d'une solution de chlorure de magnésium [1].

La tubulure d'arrivée du compteur doit être munie d'un robinet. On place quelquefois un second robinet sur la tubulure de départ, mais l'emploi de ce dernier n'est pas réglementaire.

Les raccords d'arrivée et de départ du compteur sont souvent plombés par les Compagnies de gaz, pour empêcher qu'on le déplace sans leur intervention.

Le prix d'un compteur à gaz est assez réduit, la série de la ville de Paris indique pour la fourniture d'un compteur de 5 becs le chiffre de 54 fr. 45. Cependant, pour éviter à certains abonnés cette dépense d'installation, les polices stipulent en général, que les compteurs pourront être fournis en location par les Compagnies de gaz, à des conditions déterminées.

Branchements Robinets extérieurs. — Canalisations intérieures. — En Angleterre, en Belgique et en Allemagne, les branchements qui amènent le gaz au compteur, et les canalisations intérieures sont fort souvent constitués par des tubes de fer taraudés que l'on

[1] Ce sel est très hygrométrique. A Bruxelles on ne nivelle jamais les compteurs contenant une dissolution de chlorure de magnésium.

assemble au moyen de manchons également taraudés. Le fer qui a l'avantage de ne pas fondre en cas d'incendie, de résister aux chocs et de rendre difficiles les perforations malveillantes, n'est presque pas employé en France. On lui reproche d'être facilement attaqué par le gaz, et de s'obstruer rapidement par les produits de cette attaque.

Les branchements en plomb sont raccordés par des soudures aux conduites souterraines, lorsqu'elles sont en tôle bitumée. Quand ces conduites sont en fonte, on bat un collet sur l'extrémité du plomb, et on serre ce collet contre la paroi extérieure du tuyau au moyen d'un collet de fer.

A Paris et dans un grand nombre de villes, on intercale entre la prise et le compteur un robinet extérieur, généralement placé dans un coffret que l'on encastre dans la façade des maisons. Ce coffret, comme celui qui commande la plomberie des consoles, doit être suffisamment étanche à sa partie postérieure, pour ne pas permettre au gaz de s'infiltrer dans les maçonneries,

Il est muni d'une porte dont les agents de la Compagnie ont seuls la clé. Un trou pratiqué dans cette porte, et qui permet à l'abonné de manœuvrer le robinet peut être obturé par un cache-entrée, et dans ce cas, on ne peut ouvrir le robinet sans ouvrir la porte du coffret et par suite sans l'intervention des agents de la Compagnie.

La Compagnie peut ainsi, sans couper le branchement empêcher l'usage du gaz lorsque l'installation intérieure est défectueuse et présente des dangers pour la sécurité ou lorsque le consommateur n'a pas rempli les formalités prescrites avant de faire usage du gaz, ou lorsqu'il n'exécute pas les engagements de la police, par

exemple lorsqu'il ne solde pas le montant de sa consommation [1].

A Paris la livraison du gaz à un abonné doit être précédée non seulement de la signature d'une police, mais de la délivrance d'une permission de faire usage du gaz donné par des agents spéciaux de la Préfecture de la Seine. Cette permission n'est accordée qu'à la suite d'un essai et d'un examen constatant la régularité de l'installation intérieure.

Les canalisations intérieures sont généralement formées de tuyaux de plomb suspendus au mur par des crochets en fer régulièrement espacés. On emploie cependant dans certains cas des tubes de cuivre moins épais que le plomb et qui, par conséquent, à section intérieure égale, ont des dimensions extérieures moins fortes. De plus, ces tubes sont suffisamment rigides pour ne pas demander à être soutenus sur une très grande longueur. Recouverts de peinture ils sont confondus par l'œil avec certaines moulures.

Les canalisations intérieures doivent remplir plusieurs conditions.

1° Elles doivent être de diamètre suffisant pour per-

[1] Les polices stipulent généralement, en France, que le gaz est payable d'avance, et indiquent le montant de la somme que l'abonné doit verser (7 francs par bec à Paris) avant de faire usage du gaz.

Cette clause est la conséquence de l'obligation imposée à la Compagnie de fournir du gaz à tout consommateur ; la Compagnie ne peut refuser de contracter un abonnement avec un commerçant notoirement insolvable, il est juste qu'elle soit assurée contre cette insolvabilité.

D'après un arrêt du Conseil d'État du 15 janvier 1868, un maire ne peut se refuser à approuver un modèle de police sous le prétexte que cette police stipule l'obligation d'un versement d'avance, et que ce versement d'avance n'est pas édicté dans le traité intervenu entre la Ville et la Compagnie du Gaz.

mettre au gaz d'arriver aux appareils de consommation, avec la pression nécessaire. Comme la perte de charge est fonction du diamètre, de la longueur et du débit des conduites, on a dû dresser des tableaux où l'on tient compte de ces trois variables. Les chiffres portés dans le tableau ci-après résultent des expériences de M. Schilling.

LONGUEUR DE LA CONDUITE EN MÈTRES	DIAMÈTRE INTÉRIEUR DES TUYAUX							
	9mm,5	12mm,5	16mm	19mm	25mm,5	32mm	38mm	51mm
	Nombre de flammes à 140 litres de consommation par heure.							
2	3	10	18	30	60	120	180	400
4	3	8	16	25	50	100	150	320
6	2	6	13	20	40	80	120	260
8	2	5	10	15	32	64	100	220
10	1	4	8	13	25	50	80	180
15	1	3	5	9	20	40	60	155
20		2	5	8	17	35	55	132
25		1	4	7	15	30	50	120
30		1	4	6	12	25	45	112
35			3	5	11	22	40	103
40			2	4	10	20	35	96
45			2	4	9	19	30	88
50			1	3	8	17	28	80
60				3	7	16	26	70
70				2	6	15	24	65
80				2	5	14	22	60
90				1	4	13	20	55
100				1	3	12	18	50
150					2	9	15	43
200					1	8	13	36
250						7	12	30
300						6	11	25

2° A Paris elles doivent être apparentes (arrêté du 2 avril 1868), sauf dans certaines exceptions relatives à la traversée de plafonds, de murs ou d'espaces peu ac-

cessibles comme des placards. Dans ces cas exceptionnels, les conduites de gaz doivent être enveloppées dans des manchons en fer forgé ou en cuivre.

3° Elles doivent avoir une certaine pente. Il est nécessaire de ménager aux points bas, des orifices fermés généralement par des vis, qui permettent l'évacuation des condensations.

4° Elles doivent être étanches. Pour vérifier cette étanchéité on commence par s'assurer en manœuvrant le robinet du compteur qu'il peut intercepter complètement le passage du gaz et produire l'extinction des brûleurs. On place un manomètre sur un bec, et on ferme tous les autres brûleurs. On met le gaz en charge dans les canalisations en ouvrant le robinet du compteur. On referme ce robinet ; si la plomberie est étanche, l'eau ne doit pas baisser dans le manomètre.

5° Enfin les locaux éclairés au gaz doivent (arrêtés du 18 février 1862 et du 2 avril 1868) être suffisamment ventilés, pour rendre inoffensives les fuites importantes. Il est interdit de rechercher les fuites par le flambage c'est-à-dire en approchant une flamme du siège présumé de la fuite.

Appareils d'éclairage. — Bras, genouillères, lyres, tés, lustres, suspensions a tirage, lampes portatives. — Emploi de régulateurs et de manomètres. — L'extrémité des plomberies vient généralement se souder sur l'une des branches d'un raccord rectangulaire en cuivre, dont l'autre branche taraudée est disposée au centre d'une patère en bois scellée dans les murs ou plafonds.

Les appareils à gaz qui supportent les brûleurs sont constitués par des tubes de fer, ou plus généralement de

laiton, dont une des extrémités est taraudée et porte un disque, et dont l'autre extrémité porte les becs et leurs robinets. On visse l'appareil sur la branche du raccord qui termine la plomberie, et on fixe le disque contre la patère au moyen de trois ou quatre vis.

L'arrêté du 2 avril 1868 prescrit de munir chaque brûleur d'un robinet, dont le boisseau doit porter un taquet d'arrêt. Ce taquet quand on ferme le robinet empêche le boisseau de dépasser le point où le passage est intercepté, on n'est pas exposé à ouvrir par mégarde un brûleur sans l'allumer.

Lorque l'appareil à gaz doit s'appliquer contre un mur vertical, il peut être constitué par un tube fixe horizontal terminé par un porte-bec coudé. Cet appareil simple s'appelle bras ou manchon. Il peut être également constitué par un, deux ou trois tubes horizontaux raccordés par des mouvements à rodage analogues aux cannillons d'un robinet. Les genouillères, simples, doubles ou triples permettent le déplacement de la flamme dans un plan horizontal.

Les appareils suspendus aux plafonds ont souvent la forme de lyres lorsqu'ils ne comportent qu'un seul brûleur. Lorsqu'ils alimentent deux ou plusieurs becs on les appelle tés ou lustres.

Les suspensions à un seul bec, dites lampes d'atelier, sont quelquefois munies près du plafond, d'un mouvement à genouillère qui permet de les relever quand elles ne brûlent pas.

On désire quelquefois, surtout dans les salles à manger, des suspensions qui permettent au brûleur d'occuper des positions variables sur une ligne verticale.

La tige de ces appareils est constituée par deux tubes

concentriques, et le joint est formé par de l'étoupe ou du liège graissés. Les tiges à joint hydraulique sont proscrites à Paris. Autant que possible, il faut éviter de faire usage de ces appareils à tirage qui présentent toujours de grandes chances de fuite.

On emploie souvent des lampes portatives alimentées par des tubes en caoutchouc, ou des tubes flexibles en cuivre à joints de caoutchouc. Les fuites sont toujours à redouter sur ces tubes. L'extinction de ces lampes portatives doit donc être produite par la fermeture du robinet fixé à la plomberie.

Les variations de la pression du gaz dans les conduites souterraines peuvent produire des troubles dans les installations intérieures, surtout lorsque l'éclairage est fait au moyen de becs à verre. Pour éviter cet inconvénient il existe deux solutions ; ou faire commander toute l'installation intérieure par un régulateur de pression, ou munir les brûleurs de rhéomètres.

La première de ces solutions est à recommander, lorsque l'installation est fort importante et comporte des conduites souterraines. Il est impossible avec des canalisations souterraines d'éviter complètement les fuites, il est alors intéressant de réduire à leur minimum l'importance de ces fuites en limitant au strict nécessaire la pression dans les canalisations commandées par le compteur.

Mais il vaut beaucoup mieux, lorsque les canalisations sont exclusivement aériennes, avoir recours aux régulateurs de becs ; l'odeur du gaz permet alors de reconnaître et de réparer immédiatement les fuites qui viennent à se produire, et les rhéomètres ont l'avantage de rendre le débit de chaque brûleur constant et indé-

pendant du nombre de becs allumés dans l'établissement éclairé.

VENTILATION. — On fait au gaz d'éclairage deux grands reproches.

En brûlant, il vicie l'atmosphère[1] et il produit une quantité de chaleur intense.

Ph. Lebon, dans un certificat d'addition en date du 25 août 1801 explique comment on peut remédier au premier inconvénient. « Il est facile, dit-il textuellement de ne répandre dans les appartements que la lumière et la chaleur, et de rejeter à l'extérieur tous les produits même ceux résultant de la combustion du gaz inflammable. Voici pour cet objet ce qui est *exécuté chez moi*. La combustion du gaz inflammable se fait dans un globe de cristal soutenu par un trépied et mastiqué de manière à ne laisser rien échapper au dehors des produits de la combustion. Un petit tuyau amène l'air inflammable, un second tuyau y introduit l'air atmosphérique, et un troisième tuyau emporte les produits de la combustion.

« Celui de ces tuyaux qui conduit l'air atmosphérique le prend dans l'intérieur de l'appartement quand on veut l'y renouveler ou autrement il le tire du dehors. »

Un grand nombre d'inventeurs ont construit des appareils d'éclairage par le gaz sur les principes indiqués par Lebon. Faraday notamment a imaginé, pour l'éclairage de la Chambre des Lords à Londres, un type de

[1] 100 litres de gaz qui donnent dans les becs ordinaires l'intensité d'une lampe Carcel produisent en brûlant environ 65 litres d'acide carbonique soit un peu moins de quatre fois le volume expiré par heure par un homme adulte (18^{lit},6).

brûleur d'Argand à deux cheminées concentriques. Un disque de mica obture l'extrémité supérieure de la cheminée extérieure. Les produits de la combustion redescendent dans l'espace annulaire compris entre les deux cheminées, et aboutissent à une canalisation spéciale qui les évacue à l'extérieur.

Les brûleurs d'Argand renversés qui composaient la rampe de certains théâtres, et notamment de l'Opéra de Paris, envoyaient les gaz brûlés dans une cheminée spéciale.

Nous avons vu, il y a déjà fort longtemps, à l'école préparatoire de la rue Lhomond, une tuyauterie de tôle disposée pour évacuer à l'extérieur des classes les produits de combustion des becs d'éclairage.

La chaleur dégagée par le gaz, loin d'être un inconvénient, présente dans un grand nombre de cas un avantage important. Elle permet de ventiler les pièces. Lavoisier, dans son *Traité sur la manière d'éclairer les salles de spectacles*, après avoir décrit les reverbères elliptiques ajoute : « De semblables reverbères formeraient autant de ventilateurs qui renouvelleraient continuellement l'air de la salle.

« On sait maintenant, et c'est un fait que personne ne révoque en doute, que les corps qui brûlent sont les meilleurs de tous les ventilateurs, en effet tout corps qui brûle échauffe l'air environnant ; or l'air ne peut s'échauffer sans être dilaté et sans devenir plus léger que le fluide ambiant, dès lors il est forcé de s'élever, et il est remplacé par de l'air frais, lequel s'échauffe à son tour et s'élève comme le premier d'où il résulte un courant continuel d'air qui se renouvelle. Il y a des siècles que ce moyen est employé avec le plus grand succès dans

les mines, et M. Cadet de Vaux en a fait une application très heureuse pour purifier l'air corrompu des fosses d'aisances, des égouts, etc. »

Les appareils les plus pratiques d'éclairage au gaz, propres à ventiler de grandes pièces, sont peut-être encore les *Sun burners*, construits par Strode, et inventés il y a plus de cinquante ans par King. Ils consistent dans la combinaison de 6 becs Manchester ou plus, fixés horizontalement sur un cercle de manière à former une étoile. On réunit un certain nombre de ces étoiles à une petite distance du plafond et on les place sous deux cheminées concentriques qui emportent au dehors les produits de la combustion. La cheminée centrale comporte un papillon, que l'on règle de manière à ralentir dans cette cheminée la vitesse des gaz brûlés, on arrive ainsi à obtenir des flammes complètement horizontales. La chaleur de la combustion détermine un appel de l'air, qui produit une ventilation assez énergique.

Ces appareils sont forts usités en Angleterre ; ils nécessitent des pièces assez hautes. Ils ont tous les avantages des brûleurs à air libre : allumage facile, entretien presque nul, absence de verre, etc. Pendant le jour ils peuvent être mis en veilleuse et la ventilation qu'ils déterminent est encore très suffisante.

La quantité d'air évacuée dans une cheminée, décroît en effet beaucoup moins rapidement que la quantité de gaz consommée pour déterminer l'appel.

La figure 27 représente un bec Wenham disposé pour la ventilation.

Les appareils que nous venons de décrire, peuvent être recommandés dans tous les cas où les locaux comportent un petit nombre de foyers, que l'on peut sur-

monter par des cheminées verticales indépendantes [1] et débouchant séparément à l'extérieur.

Lorsque la surface des pièces à éclairer est importante relativement à la hauteur, et que l'on est obligé de multiplier les foyers d'éclairage, on peut employer deux modes de ventilation.

[1] On ne peut espérer utiliser pour la ventilation toutes les calories produites par la combustion du gaz dans les appareils d'éclairage. La chaleur rayonnante reste presque tout entière dans le local éclairé. M. Vanderpol, à qui nous devons une remarquable étude sur la ventilation, a montré que la proportion de la chaleur totale évacuée dans les cheminées de ventilation, était de 40 pour 100 pour un bec d'Argand de 180 litres, de 28,5 pour 100 pour un bec Wenham de 280 litres, de 40 pour 100 pour un bec Wenham de 570 litres. Cette proportion augmente lorsqu'on abaisse la consommation de ces brûleurs au dessous du débit normal.

M. Vanderpol a étudié la variation du volume d'air qu'on peut extraire par heure au moyen de différents brûleurs, quand on faisait varier le débit de brûleurs. Il indique les chiffres suivants qu'il a obtenus par des expériences :

BEC PAPILLON 7/10		BEC D'ARGAND A CHEMINÉE		BEC WENHAM N° 2 (de 280 litres)	
Consommat. horaire de gaz	Volume d'air extrait par heure	Consommat. horaire de gaz	Volume d'air extrait par heure	Consommat. horaire de gaz	Volume d'air extrait par heure
lit.	mc.	lit.	mc.	lit.	mc.
10,800	10,050	18,500	25,500	28	11,350
20	12	87,500	39,300	100,800	17,900
225	24,900	225	61,200	204	22,660
				315	26,100

Ces chiffres ne sont vrais évidemment que dans les conditions des expériences faites par M. Vanderpol, c'est-à-dire pour des conduits de ventilation de dimension et de disposition déterminées, mais ils montrent que l'on peut mettre les brûleurs presque en veilleuse, ou réduire la consommation au dixième pendant le jour, et qu'on obtient encore une ventilation suffisante.

On peut faire parvenir les produits de la combustion de tous les foyers dans un réseau de conduites terminées par une cheminé verticale, ou bien laisser les produits de la combustion se déverser dans le local éclairé. On ménage alors, le plus près possible du plafond, certains orifices pour évacuer les gaz chauds.

Nous conseillons une certaine réserve dans l'application du premier système. Si on laisse par mégarde un bec ouvert sans l'allumer, on ne sera pas averti par l'odeur du gaz qui sera aspiré dans les conduites de ventilation et on sera exposé à des explosions dont les conséquences peuvent être graves.

Il faut en tout cas, prendre certaines précautions dans *la pose du réseau* des conduits de fumée. Il convient, notamment, de proscriré les tuyaux de tôle qui peuvent être attaqués par les produits de la combustion du gaz. On ménagera, dans ce réseau, des pentes suffisantes pour permettre la vidange facile de l'eau de condensation, et surtout empêcher que cette eau soit ramenée aux brûleurs.

CHAPITRE VII

APPLICATIONS DU GAZ AU CHAUFFAGE DOMESTIQUE ET A LA CUISINE

Combustion du gaz, sa puissance calorifique. — Températures développées par la combustion du gaz. — Quantité d'air nécessaire pour brûler un volume de gaz. — Premières applications du gaz au chauffage. — Appareils de chauffage au gaz ; brûleurs à flamme blanche, brûleurs à flamme bleue. — Brûleur Bunsen — Brûleurs à champignons et à couronnes. — Consommation des brûleurs. — Quantité d'air nécessaire pour alimenter les brûleurs à flamme bleue. — Appareils de cuisine et d'économie domestique. — Réchauds à gaz, fourneaux. — Hauteur des vases au-dessus des appareils. — Expériences diverses de cuisine au gaz. — Rôtissoires au gaz. — Chauffe-bains. — Chauffage des appartements au moyen du gaz. — Foyers ouverts. — Bûches à gaz. — Foyers à réflecteurs. — Foyers à boules d'amiante. — Foyer Deselle. Cheminée Clamond. — Foyer Fletcher. — Foyer Wilson. — Foyers à récupération, système Foulis, système Vielliard — Poêles et calorifères à gaz. — Calorifères tambour de la Cie Parisienne du Gaz. — Poêle hygiénique, système Potain. — Calorifère Wilson.

Le gaz d'éclairage mis en contact, en présence de l'air, avec un corps en ignition, ou même simplement avec un corps porté à la température du rouge sombre, s'enflamme et donne en brûlant, comme nous l'avons vu, une lumière plus ou moins vive. La combustion qui se produit, et qui n'est autre que la combinaison des éléments qui entrent dans la composition du gaz avec l'oxygène de l'air, donne lieu à un dégagement de chaleur. La température de la flamme est, en effet, très élevée ;

on s'assure directement de ce fait en y plongeant des corps solides de faible masse, notamment des fils de platine ; ils prennent un éclat qui ne peut être produit que par une température excessivement élevée.

Lorsque le gaz brûle simplement à l'air libre, en donnant une flamme éclairante, la combustion n'est pas toujours complète parce que la quantité d'oxygène qui lui est fourni par l'air ambiant est insuffisante, et alors la flamme est fuligineuse : mais si l'on mélange le gaz, au préalable, avec de l'air, ou mieux encore avec de l'oxygène dans des proportions convenables, la combustion est complète, la température de l'intérieur de la flamme est beaucoup plus élevée et la quantité de chaleur produite sensiblement constante, pour un gaz d'une composition déterminée.

Dans ce dernier cas, la flamme n'est plus éclairante; le gaz brûle *bleu*, comme on dit ordinairement ; cela tient à ce que tous les carbures sont très rapidement décomposés, que le carbone en suspension est immédiatement brûlé sans être porté à l'incandescence, et que par suite, la flamme perd tout son éclat.

Cette propriété du gaz d'éclairage de donner lieu, presque instantanément, à une combustion complète, est très précieuse, car c'est un moyen de se procurer rapidement des températures très élevées, qu'on n'obtient que peu à peu avec d'autres combustibles.

Puissance calorique du gaz d'éclairage. — La puissance calorifique du gaz d'éclairage n'a pas été déterminée directement ; elle a été obtenue en additionnant les quantités de chaleur que peuvent produire les éléments qui le constituent ; on trouve ainsi, d'après Péclet, que la puissance calorifique du gaz d'éclairage

est de 11.293 calories par kilogramme. Cette valeur suppose que l'eau provenant de la combustion se condense ; si la vapeur reste dans les produits de la combustion, comme la quantité peut en être évaluée à 1^{kil},69, il faudra retrancher 1,09 $\times$ 606 = 1024 calories de 11.293, ce qui donne 10.260 pour le total des calories produites par la combustion du gaz. Ce nombre 606 représente par kilogramme la chaleur totale de la vapeur d'eau ajoutée à sa chaleur latente de vaporisation.

Lorsqu'on connaît la puissance calorifique d'un combustible, on peut calculer, pour tous les cas qui peuvent se présenter, la quantité de combustible à brûler pour produire un effet donné. Ce résultat correspond toujours à un nombre x de calories à utiliser et, par suite, à produire ; si donc on désigne par c la puissance calorifique d'un combustible, la quantité qui doit être brûlée pour produire x calories est évidemment égale à $\frac{x}{c}$; mais dans la plupart des circonstances, le résultat pratique est très inférieur au résultat théorique, et si on désigne par n la fraction de la puissance calorifique qu'on peut seulement utiliser, la formule représentant la quantité de combustible à brûler devient $\frac{x}{nc}$. Tout l'intérêt économique de la question revient donc à trouver un appareil avec lequel n soit le plus grand possible et, par suite, la quantité de combustible à brûler réduite à son minimum.

Températures développées par la combustion du gaz. — On a essayé de se rendre compte de la température maxima développée, par la combustion du gaz d'éclairage au contact de l'air, en tenant compte des

phénomènes de dissociation de l'eau et de l'acide carbonique ; on arrive ainsi au chiffre de 1477° [1]. Ce chiffre est un peu faible, car M. Schloesing, au moyen du gaz d'éclairage, a produit une température suffisante pour fondre le fer. Il opère pour cela avec de l'air, sous une pression de 3 décimètres d'eau en sus de la pression atmosphérique, et il a obtenu ainsi la fusion du fer doux, du platine, etc., etc.

Or, la température de fusion du fer n'est pas évaluée à moins de 1500° ou 1600°, et la température de fusion du platine est encore plus élevée. Mais, dans ce dernier cas, la combustion a lieu sous pression, et déjà en 1868, Frankland avait fait voir que les flammes sont d'autant plus lumineuses, qu'elles se produisent sous une plus grande pression ; de son côté, H. Sainte-Claire Deville avait signalé dans les flammes observées au spectroscope un plus grand nombre de raies brillantes et une intensité plus grande de ces raies quand la pression augmente, il en conclut que la température s'élève ; il y a donc lieu de considérer le cas particulier où la combustion se produit en vase clos et se fait, par suite, sous volume constant, et alors les capacités calorifiques à volume constant se substituent aux capacités calorifiques à pression constante.

Quantité d'air nécessaire pour bruler un volume de gaz. — On connaît la composition élémentaire du gaz d'éclairage, et nous l'avons déjà donnée dans ce volume ; il est facile d'en déduire la quantité d'air nécessaire à la combustion complète d'un volume de gaz.

[1] Péclet, *Traité de la chaleur*, considérée dans ses applications, 4e édition publiée par A. Hudelo, répétiteur à l'Ecole centrale, 1878.

On trouve ainsi qu'il faut $5^{mc},5$ d'air pour brûler complètement 1 mètre cube de gaz. On constate, en effet, que, si dans les appareils de chauffage la quantité d'air qu'on met au contact du gaz, soit comme mélange, soit comme air ambiant, est trop considérable et dépasse beaucoup les $5^{mc},5$ indiqués plus haut ; on obtient un résultat calorifique moindre qu'aux environs de 5 mètres cubes d'air par mètre cube de gaz et de même on a un résultat mauvais en restant au-dessous de $5^{mc},5$ parce qu'alors la combustion est incomplète.

En définitive, on peut apprécier d'une façon suffisamment exacte la valeur d'un appareil de chauffage, en examinant de combien les résultats qu'il donne diffèrent de la quantité théorique de chaleur que le gaz doit produire, ou plus simplement en vérifiant quelle est la quantité d'eau qu'il peut élever de 0° à 100° ; 1 litre d'eau, pour être porté de 0° à 100, exige 100 unités de chaleur ou 100 calories, et comme il faut $19^{lit},68$ de gaz à raison de 5.135 calories par mètre cube pour fournir 100 calories, il est bien évident que l'appareil considéré sera d'autant plus parfait, qu'il se rapprochera plus de cette consommation de $19^{lit},68$ pour porter de l'eau à l'ébullition.

En admettant que la combustion soit complète, 1 mètre cube de gaz fournit, en brûlant, d'après Hudelo, environ 1 kilogramme de vapeur d'eau et 650 litres d'acide carbonique.

Premières applications du gaz au chauffage. — Les premières applications du gaz au chauffage datent de l'origine de sa fabrication.

Lebon, en effet, au moment de l'invention de son thermo-lampe, dit textuellement, en décrivant son appareil : « Par ce moyen, la chaleur et la lumière nous

sont données après avoir été filtrées à travers du verre ou du cristal. » (Brevet du 28 septembre 1799.)

Winsor, au commencement du siècle, avait indiqué dans un brevet, qu'on pouvait employer le gaz à la cuisine et au chauffage des appartements. En 1825, Robert Hicks invente un appareil pour chauffer les bains au gaz et, en 1834, Richard Barnes prit un brevet pour « une machine destinée à fournir de l'air chaud dans l'intérieur des habitations et en même temps à éclairer ».

Jusque-là, les premiers essais ne furent pas très satisfaisants ; le gaz fumait et répandait en brûlant, au-dessus des vases, une odeur désagréable, mais en 1835, Robison trouve le moyen de brûler le gaz, sans fumée et sans odeur.

Nous trouvons, dans un rapport adressé en 1839, par M. Payen, à la Société d'encouragement, les indications suivantes sur l'appareil de Robison.

« Cet appareil se compose d'un tube conique ouvert aux deux bouts, offrant à sa partie inférieure une section de 6 pouces de diamètre, sa hauteur est de 1 pied et sa section à la partie supérieure de 3 pouces de diamètre. Celle-ci est recouverte d'une toile métallique en cuivre offrant cinquante mailles par pouce carré.

« Trois pieds adaptés à la partie inférieure de ce tube le supportent à six lignes du plan sur lequel il est posé. Trois montants en tôle fixés sur deux cercles peuvent, à volonté, envelopper le tube et soutenir à 1 pouce au-dessus de la toile métallique, le vase que l'on se propose de chauffer. »

Pour se servir de son appareil, Robison le plaçait au-dessus d'un bec de gaz ; le gaz, en s'épanouissant sous la toile métallique, se mêlait à l'air extérieur, et quand

on l'enflammait au-dessus, il se produisait un grand nombre de flammes courtes, peu lumineuses, mais douées d'un grand pouvoir calorifique ; cette invention de Robison fit faire un pas à l'emploi du gaz au chauffage.

A peu près à la même époque, M. Merle, dans un traité sur les applications du gaz, dit qu'on peut employer le gaz autrement que pour la lumière, qu'il peut être économique comme combustible, et il ajoute ;

« Ayant vu à Londres, il y a quelques années, un petit appareil au moyen duquel on faisait cuire une côtelette de mouton par la chaleur du gaz, l'idée me vint de faire une machine que j'appelle cuisine au gaz et pour laquelle je suis breveté. Cette cuisine qui peut être établie en tôle, en zinc ou en fer-blanc, est divisée en trois compartiments, et la chaleur du gaz se trouve distribuée de manière à ce qu'il n'y en ait pas de perdue.

« L'un des compartiments sert à rôtir, l'autre pour la cuisson au four et le troisième pour faire bouillir de l'eau, etc., etc. »

Depuis 1840, nombre d'inventeurs d'origine française, anglaise et allemande créèrent de nouveaux appareils destinés à la cuisine au gaz, et au chauffage des appartements, mais les Compagnies qui étaient chargées à cette époque de l'éclairage de Paris, n'avaient pas prévu cette consommation de jour ; en outre, les seuls habitants du rez-de-chaussée recevaient le gaz qui ne pénétrait pas encore dans les étages supérieurs des maisons. L'emploi du gaz pour le chauffage resta donc stationnaire, d'autant plus que les appareils destinés à cet emploi étaient d'un prix très élevé. En 1855, lors de la formation de la *Compagnie Parisienne du gaz* celle-ci commença à fournir du gaz à toute heure du

jour et de la nuit, avec une pression *minima* déterminée. La Compagnie trouvant qu'il y avait un certain intérêt à répandre le gaz dans toutes les habitations, depuis le rez-de-chaussée jusqu'aux étages supérieurs, ouvrit un débouché considérable à l'emploi du gaz, tant pour l'éclairage que pour le chauffage, par l'installation des conduites montantes[1].

Les fabricants d'appareils, stimulés de leur côté par la vente probable d'un grand nombre d'appareils de cuisine et de chauffage proprement dit, créèrent de nouveaux modèles, améliorèrent les anciens, y apportèrent quelques perfectionnements dictés par l'expérience, et arrivèrent aux différents types que nous allons examiner avec quelques détails.

Appareils de chauffage au gaz. — Les appareils de chauffage au gaz, considérés d'une manière générale et indépendante de l'usage auquel ils sont destinés, peuvent se diviser en deux types très différents :

1° Les appareils à flamme blanche, sans mélange d'air ;

2° Les appareils à flamme bleue, avec mélange d'air.

Bruleurs a flamme blanche. — Ces brûleurs, les plus simples, sont formés de tubes en fer ou en cuivre, percés de trous d'un diamètre plus ou moins grand, par où le gaz se dégage. La combustion a lieu en présence de l'air ambiant qui arrive au contact du gaz, sans qu'on ait cherché à augmenter ou à diminuer le volume d'air qui entoure le brûleur. Le gaz arrive donc quelquefois

[1] Le nombre d'abonnés de la Compagnie Parisienne du Gaz était :

En 1856 de.	30.484
En 1870 de.	86.900
En 1880 de.	148.514
Au 1er janvier 1891, il était de.	233.010

en quantité trop considérable pour que sa combustion soit complète, alors sa flamme devient fuligineuse, et si on place un corps froid au-dessus de cette flamme, il se couvre immédiatement d'une couche épaisse de noir de fumée. Pour remédier autant que possible à cet inconvénient, on diminue le diamètre des trous du brûleur, et on augmente leur nombre, mais on perd toujours ainsi une certaine partie de la chaleur dégagée, et il y a lieu de faire observer que les trous trop fins présentent de sérieux inconvénients dans la pratique : une légère oxydation, des poussières, des corps étrangers les bouchent, et il est très difficile d'épingler des trous de 3 dixièmes de millimètre.

M. Sugg qui, en Angleterre, préconise l'emploi des flammes blanches pour tous les appareils de cuisine (rôtissoires et réchauds) remédie à ces inconvénients en employant comme brûleurs des couronnes de petits becs en stéatite.

La stéatite qui est inoxydable, s'obstrue difficilement ; comme elle est mauvaise conductrice de la chaleur, elle réduit, dans une certaine mesure, les pertes de calorique dues à la masse métallique des fourneaux. Pour empêcher qu'une augmentation brusque de pression produise sur les vases des dépôts de noir de fumée, M. Sugg munit de régulateurs tous ses fourneaux.

Les appareils à flamme blanche ont, sur les appareils à flamme bleue, l'avantage de ne nécessiter qu'une faible pression pour leur bon fonctionnement [1].

[1] A l'Ecole Nationale de cuisine de Londres, qui dépend de l'Administration des beaux-arts (Kensington), la *National Training School of Cookery*, où la cuisine est exclusivement faite au gaz, tous les appareils employés, sans exception, sont à flamme blanche.

Un genre de brûleur à flamme blanche paraît devoir donner lieu à une combustion complète, c'est le bec d'Argand à verre ; dans ce dernier brûleur, l'appel d'air est en quelque sorte régularisé ; l'air n'arrive que peu à peu et en quantité suffisante au contact du gaz, tout le carbone en suspension est immédiatement brûlé, la flamme est entièrement blanche, la combustion est complète, il ne se produit ni oxyde de carbone, ni noir de fumée.

Malheureusement, ce genre de bec, excellent pour l'éclairage, ne peut pas être appliqué aux appareils de cuisine, et il ne sert que rarement pour l'alimentation des appareils de chauffage proprement dits et de certains poêles à gaz en particulier.

Bruleurs a flamme bleue. — Le fourneau Robison, dont nous avons parlé plus haut, a été le point de départ de nouvelles recherches pour obtenir, en même temps qu'une combustion complète, une température élevée; mais l'emploi des toiles métalliques dont se servait *Robison* n'a pas donné de bons résultats, à cause de l'usure rapide de ces toiles, aussi a-t-on cherché une autre combinaison.

Bruleur Bunsen. — Le brûleur *Bunsen* ordinaire a résolu la question d'une façon à peu près complète. Il se compose d'un tube cylindrique en cuivre MN, d'un centimètre de diamètre environ (fig. 42), à la partie inférieure duquel le gaz pénètre par un petit trou circulaire, comme celui d'un bec bougie; une ouverture latérale O, munie d'un registre, donne accès à l'air. Quand ce registre est ouvert, le jet de gaz sortant sous pression du bec bougie qui porte le nom d'*injecteur*, entraîne avec lui, à la façon de l'injecteur Giffard, une

certaine quantité d'air à laquelle il se mélange intimement entre M et N. Ce mélange est généralement trop pauvre en oxygène pour s'allumer, il ne peut brûler comme le gaz pur qu'au contact de l'air extérieur, c'est-à-dire au delà de N. Mais sa flamme est bleue et dénuée de tout pouvoir éclairant, parce que les particules de ce carbone se trouvant, au moment même de leur naissance, en contact avec de l'oxygène, se transforment instantanément en acide carbonique sans avoir été portées à l'incandescence.

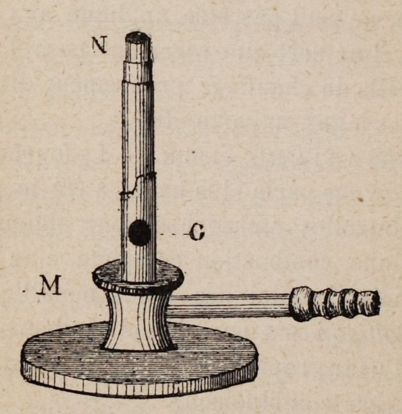


Fig. 42. — Brûleur Bunsen.

Il peut arriver quelquefois que le mélange d'air et de gaz, au lieu de brûler au sommet du tube MN, s'enflamme à l'injecteur, ce dont on s'aperçoit immédiatement, car le gaz brûle blanc ; pour éviter cet inconvénient, M. Berthelot a modifié quelque peu le brûleur Bunsen et lui a donné une forme cintrée qui facilite un mélange plus intime du gaz et de l'air (fig. 43).

M. Flechter, constructeur à Warington (Angleterre),

a modifié le brûleur Bunsen ; il donne au tube des dimensions beaucoup plus grandes relativement à l'injecteur, la section d'entrée d'air est également plus grande, aussi le mélange d'air et de gaz devient-il détonant et il est nécessaire de couvrir l'ouverture supérieure du brûleur avec une toile métallique pour empêcher la combustion de se propager dans le tube MN.

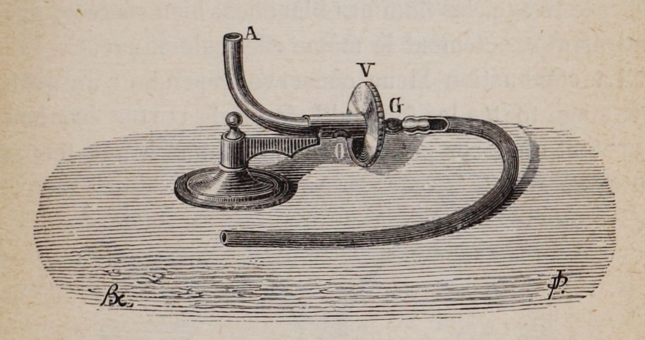


Fig. 43. — Brûleur Bunsen, modifié par M. Berthelot.

On s'est souvent demandé quelle était celle des deux flammes blanche ou bleue, qui produisait l'effet utile le plus considérable. Le bec Bunsen, qu'on peut employer successivement avec une flamme bleue ou avec une flamme blanche, nous a permis de faire, à ce sujet, quelques expériences comparatives.

La dépense horaire de gaz, la pression étant les mêmes dans les divers cas que nous avons considérés, nous avons reconnu, en faisant bouillir un même volume d'eau dans un même vase, situé à la même hauteur au-dessus du brûleur, qu'il n'y avait qu'une différence très peu sensible entre les résultats obtenus au moyen des deux flammes. Ces résultats dépendent

beaucoup, en effet, des dispositions données à l'appareil employé. On peut donc dire d'une manière absolue que, si les flammes bleues conviennent mieux toutes les fois qu'on veut employer le gaz pour le chauffage des appareils de cuisine, parce que la combustion bleue n'expose pas à la production du noir de fumée pour le moindre excès de dépense ou la moindre irrégularité dans le tirage, les flammes blanches, bien réglées, produiraient exactement le même effet calorifique.

La combustion bleue conserve cependant un grand avantage toutes les fois qu'il s'agit de porter économiquement un corps plongé dans la flamme à une température élevée.

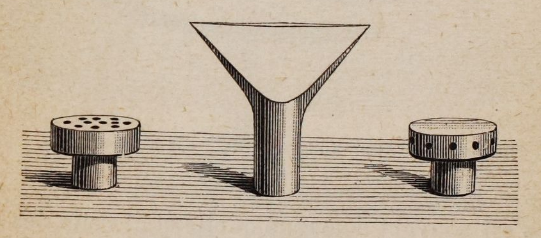


Fig. 44, 45, 46. — Couronnements divers du brûleur Bunsen

La chandelle Bunsen est, de tous les appareils connus, celui qui donne les meilleurs résultats au point de vue calorifique. On lui a fait cependant quelques reproches dans la pratique. Les chandelles doivent être démontées souvent pour nettoyer, épingler l'injecteur, qui s'oxyde ou se bouche. Leur flamme, en forme de dard, attaque très durement les vases, les fait casser s'ils sont en verre ou en porcelaine, et les tache s'ils sont métalliques.

On fait disparaître en partie ce dernier inconvénient

en surmontant la chandelle du brûleur Bunsen d'un couronnement spécial, suivant l'usage auquel on le destine ; il est à jets verticaux pour le chauffage de la porcelaine, à jet en éventail pour le chauffage des tubes, et à jets horizontaux pour le chauffage du verre (fig. 44, 45 et 46).

Bruleurs a champignon et a couronne. — Un certain nombre de constructeurs ont surmonté la chandelle Bunsen d'un brûleur en forme de champignon percé de trous, les uns sont à flammes convergentes et les autres sont à flammes divergentes ; dans ce dernier cas, lorsqu'on place un vase au-dessus, on voit les flammes s'étaler latéralement au lieu de frapper la surface à échauffer. On a eu pour objectif d'envelopper complètement le vase avec la flamme, mais il faut avoir soin de bien régler le débit du brûleur, sans cela on voit les flammes projetées complètement en dehors de l'appareil et alors il y a une partie de la chaleur qui est perdue.

Ces diverses modifications apportées à la chandelle Bunsen fournissent des résultats satisfaisants lorsque les appareils sont bien conduits, mais on reproche particulièrement aux chandelles leur grande hauteur. En effet, l'appareil à gaz se place ordinairement sur un fourneau de cuisine ou sur une table ; si on ajoute à la hauteur du fourneau celle de l'appareil, environ 15 à 18 centimètres, les vases se trouvent placés trop haut, on ne voit plus ce qui se passe à l'intérieur et les manipulations culinaires en souffrent. Cet inconvénient disparaîtra certainement le jour où les cuisines seront disposées pour l'emploi du gaz et où les paillasses des fourneaux seront abaissées de 15 à 20 centimètres.

Pour utiliser le matériel actuel, on a adopté les appareils, à alimentation latérale, d'un certain nombre de constructeurs. M. Bengel a tout d'abord imaginé une couronne percée de trous (fig. 47) et ajustée à un tube dans lequel circule le mélange d'air et de gaz, l'injecteur se trouve à l'extrémité du tube, en B, et l'air pénètre tout autour, dans le tube C. Le mélange brûle par les orifices DD, qui ont environ de 7 à 8 millimètres de diamètre. Le nettoyage de cet appareil est très facile, un simple flambage suffit.

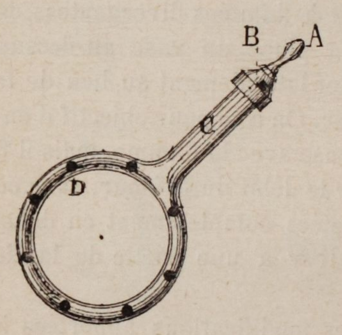


Fig. 47. — Brûleur à couronne Bengel.

Ce premier appareil fut amélioré par son auteur, qui chercha à augmenter la température produite en concentrant mieux les flammes, et construisit alors une sorte de couronne avec champignon central, relié à la couronne par trois tubes.

M. Wiesnegg a encore perfectionné ce dernier brûleur en faisant sortir le mélange d'air et de gaz par les tubes qui relient la couronne au champignon central (fig. 48) et qui sont percés de trous analogues à ceux de la couronne.

M. Vielliard a construit une couronne analogue à celle de Bengel, mais les trous d'émission du mélange d'air et de gaz sont situés sur le bord intérieur de la couronne, de façon à faire converger les jets de flamme, on a ainsi obtenu un accroissement de température et on a évité, par cette disposition, les obstructions qui se produisent fréquemment dans les trous du brûleur.

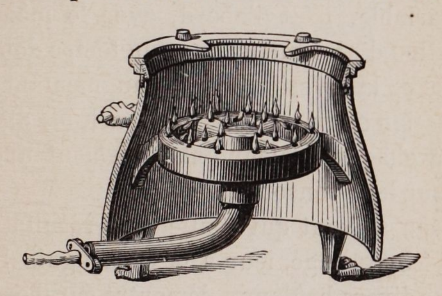


Fig. 48. — Brûleur à couronne Wiesnegg.

L'obstruction de ces trous, d'un faible diamètre dans tous les brûleurs, quelles que soient leur forme ou leurs dispositions, et la difficulté du nettoyage, a paru rendre nécessaire la construction en deux parties des couronnes et des champignons; mais le joint de ces deux parties est loin d'être parfait, le rodage des surfaces est insuffisant, il se produit des fuites, et alors la flamme, au lieu d'être vive et tendue, est molle et languissante. Nous pensons donc, malgré la préférence marquée donnée aux brûleurs démontables, que les brûleurs à couronne d'une seule pièce doivent être employés toutes les fois que le nettoyage ne présente pas trop de difficultés. En Angleterre, d'ailleurs, les brûleurs démontables sont presque inconnus.

Un diamètre de 5 dixièmes de millimètre doit être

donné aux trous, et ils seront convenablement espacés en les maintenant à 10 millimètres d'écartement.

CONSOMMATION DES BRULEURS. — La consommation des brûleurs varie naturellement avec leur genre de construction et avec l'objet auquel on les destine ; mais leur rendement, c'est-à-dire le chiffre de consommation de chacun d'eux, pour arriver à un résultat déterminé, est très variable. Tout d'abord, avec le même gaz la consommation d'un brûleur dans un temps donné, varie beaucoup avec la pression et va en augmentant à mesure que la pression augmente. D'autre part, les dispositions spéciales à chaque brûleur ont également une grande influence sur leur consommation.

Le tableau suivant qui contient les résultats obtenus par M. Lefebvre, ingénieur à la Compagnie du gaz, en opérant sur divers brûleurs, démontre surabondamment la supériorité de certains brûleurs sur d'autres qui sont également en circulation.

QUANTITÉS DE GAZ CONSOMMÉ POUR ÉLEVER 1 LITRE D'EAU DE 0° A 100° AVEC DIVERS APPAREILS

NUMÉROS des EXPÉRIENCES	APPAREILS					
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
	lit.	lit.	lit.	lit.	lit	lit.
1	57,64	49,35	44,78	40,85	36,58	35,06
2	55,81	60,00	44,82	37,20	30,86	35,00
3	51,22	50,00	45,23	38,41	33,33	34,48
4	53,01	50,58	45,68	35,36	36,90	34,18
5	52,94	»	44,58	47,03	36,14	34,66

L'appareil qui consomme le plus demande en moyenne 54^lit^,12 de gaz pour élever un litre d'eau de 0° à 100° ;

tandis que celui qui consomme le moins demande seulement $34^{lit},67$ de gaz. L'économie procurée par le dernier sur le premier est donc indiscutable.

Nous avons vu plus haut que le rendement théorique d'un brûleur pouvait être estimé à environ 20 litres de gaz pour élever 1 litre d'eau de 0° à 100° ; le brûleur qui consomme $34^{lit},67$ de gaz fournit donc 59 pour 100 du rendement théorique. Dans un concours organisé à Bruxelles, en 1887, pour l'examen des meilleurs types de réchauds à gaz, les résultats obtenus par les appareils primés n'ont pas accusé un rendement supérieur à 60 pour 100 du rendement théorique.

Quantité d'air nécessaire pour alimenter le bruleur a flamme bleue. — Une des principales difficultés qui se présentent dans la construction des appareils de chauffage réside dans la quantité d'air à fournir au mélange gazeux qui se rend au brûleur. Nous nous trouvons là, en effet, en face de deux courants d'air bien distincts ; l'un intérieur déterminé par l'injecteur : l'autre extérieur déterminé par la combustion du mélange. Ce sont ces deux courants qui fournissent au gaz la quantité d'air dont il a besoin pour brûler complètement et ne pas donner une flamme fuligineuse.

De ces deux courants, il y en a un surtout qui peut être influencé par la disposition des appareils, c'est le courant qui est déterminé par l'action de l'injecteur. Les dimensions des trous d'air, leur position horizontale ou verticale, la pression, le diamètre de l'injecteur, la longueur du tube qui amène le mélange au point où il doit brûler, la section de ce tube font varier dans de fortes proportions les quantités d'air entraîné, et par suite la combustion elle-même.

On a essayé de se rendre compte des quantités d'air qui s'introduisaient ainsi dans le tube mélangeur, et on a reconnu tout d'abord que l'alimentation verticale donnait une combustion meilleure que l'alimentation latérale ou horizontale. Mais comme l'alimentation verticale ne peut que rarement être employée, on a étudié spécialement l'alimentation horizontale et on est arrivé à la suite de tâtonnements à admettre que, pour une bonne combustion, les sections de l'injecteur et du tube mélangeur devaient être, suivant certains constructeurs, dans le rapport de 1 à 10, et suivant d'autres dans le rapport de 1 à 14. Un grand nombre d'appareils sont construits sur ces données et la combustion qui s'y produit peut être considérée comme ayant lieu dans de bonnes conditions.

Les constructeurs anglais cependant, et M. Fletcher en particulier, donnent à la chambre du mélange une section de 80 à 100 fois plus grande que celle de l'injecteur. La flamme résultant de la combustion, au lieu d'être bleue comme dans la plupart de nos appareils, est légèrement verdâtre.

M. Fletcher, dont l'expérience dans la construction des appareils à gaz paraît incontestée, préfère l'alimentation horizontale ou inclinée à l'alimentation verticale.

D'après le même constructeur, la longueur minima du tube mélangeur doit être 4 fois et demie, et sa longueur maxima 6 fois celle du diamètre du tube.

La section à donner à la sortie des mélanges gazeux ne doit être ni plus grande ni plus petite que celle du tube mélangeur.

La forme que l'on donne à la flamme des brûleurs permet aussi de modifier les règles énoncées ; ainsi par

exemple, lorsque les flammes sont divisées en petits jets séparés, il n'est pas nécessaire de mélanger une aussi forte proportion d'air préalable au gaz que pour des flammes compactes, parce qu'ici chaque flammèche prend, par sa surface extérieure à l'air ambiant, la quantité d'oxygène nécessaire à sa combustion parfaite.

Appareils de cuisine ou d'économie domestique. — Les appareils culinaires ou d'économie domestique proprement dits, comprennent : les réchauds, les fourneaux, les rôtissoires, les appareils à confectionner les grillades, les chauffe-assiettes, les chauffe-bains, etc., etc.

RÉCHAUDS. — Le réchaud à gaz (fig. 49) se compose d'un bâti circulaire en fonte, qui enveloppe le brûleur le plus souvent en forme de couronne ou de

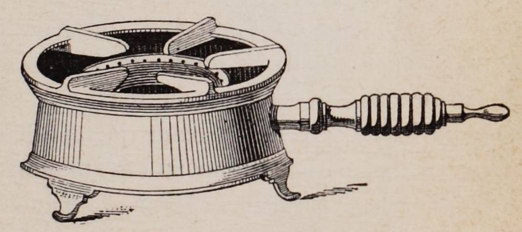


FIG. 49. — Réchaud à gaz.

champignon ; ce bâti est muni d'une sorte de manche et d'une olive pouvant se raccorder avec un caoutchouc. L'air pénètre par une ouverture située au-dessous du manche.

Les ouvertures sur lesquelles doivent se placer les vases à échauffer, sont munies d'appendices dirigés dans le sens du rayon. Ces réchauds existent en toutes dimensions, depuis les plus petits de $0^{m},08$ de diamètre

pour cabinets de toilette jusqu'à ceux de $0^{m},25$ de diamètre. Les dimensions des réchauds ne doivent pas être exagérées afin de ne pas nuire à leur mobilité. Le réchaud ne porte généralement pas de robinets à part, l'arrivée du gaz est commandée par un robinet fixé sur la rampe générale de la cuisine. Cette condition est très bonne, car le gaz arrive de la rampe au réchaud par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc qu'un service plus ou moins long peut détériorer, et il est préférable que le gaz ne demeure pas en pleine charge dans le caoutchouc.

La hauteur de ces réchauds isolés varie généralement de $0^{m},08$ à $0^{m},10$.

Fourneaux. — Souvent on a deux réchauds juxtaposés qui forment un fourneau, le bâti est alors rectangulaire et il est fermé à la partie supérieure par une plaque en fonte (fig. 50); ou d'après une autre disposition, il est garni de lames (fig. 51) ; dans ce dernier cas, la surface du fourneau est tout à fait unie et les vases ne peuvent jamais basculer. Cette dernière disposition a encore l'avantage de permettre d'éloigner les vases du brûleur, de manière cependant à maintenir encore une température suffisante pour obtenir une ébullition lente, et ensuite, de placer un grand nombre de vases simultanément sur le même fourneau.

Nous avons vu que l'alimentation du gaz d'un réchaud isolé s'obtenait en reliant un caoutchouc à la fois, sur la rampe générale de la cuisine et sur l'olive qui est à l'extrémité du manche du réchaud. Pour les fourneaux à plusieurs feux, il n'en est pas de même : un tube en cuivre parallèle au fourneau sert de rampe principale

et sur ce tube sont prises les alimentations des brûleurs qui sont ensuite commandés par des robinets isolés. On

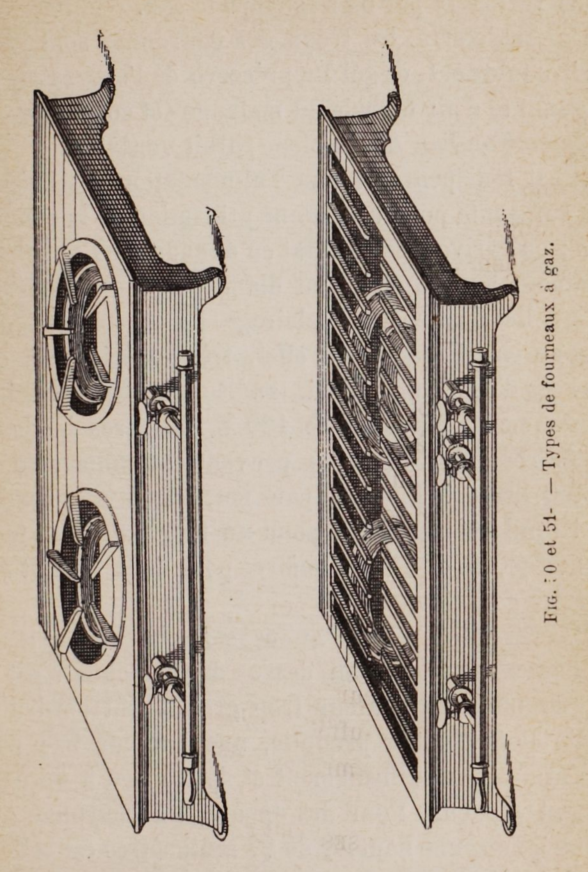


Fig. 50 et 51. — Types de fourneaux à gaz.

a soin d'éloigner autant que possible les robinets des brûleurs afin d'empêcher la dessiccation des graisses qui servent à faciliter leurs mouvements.

Actuellement, les réchauds et les fourneaux sont tous construits en France, d'après un type à peu près uni-

forme, les couronnes sont formées de deux demi-tores creux superposés, le demi-tore supérieur est percé de trous verticaux par où s'échappe le gaz.

En Angleterre, les trous des couronnes sont percés horizontalement, ce qui les préserve de l'encrassement ; la quantité d'air fournie au mélange est considérable et la flamme au lieu d'être bleue paraît verdâtre.

Il est indispensable que l'alimentation des brûleurs soit suffisante pour une bonne utilisation de la combustion ; on arrive à ce résultat en donnant aux plomberies destinées au chauffage un diamètre plus considérable qu'à celles destinées à l'éclairage. La consommation des becs de chauffage est, en effet, très supérieure à celle des becs d'éclairage ; ainsi, tandis qu'un bec d'éclairage consomme en moyenne de 120 à 150 litres à l'heure, les fourneaux de cuisine peuvent consommer de 250 à 400 litres à l'heure, par feu, et si une conduite de 13 millimètres suffit pour un fourneau à un feu, il faut du plomb de 15 millimètres pour deux feux et ainsi de suite.

Hauteur des vases au-dessus des appareils. — La hauteur des vases au-dessus des brûleurs n'est pas indifférente, une hauteur trop grande fait perdre une partie de la chaleur produite, une hauteur trop petite ne l'utilise pas suffisamment et donne lieu à un dégagement d'odeur. Pour des appareils à couronne ou à champignon, une hauteur de 27 millimètres est celle qui paraît la plus avantageuse, ainsi que l'indique d'ailleurs le tableau ci-dessous.

BRULEUR AVEC CHAMPIGNON BENGEL (moyen)

EAU ÉLEVÉE DE 0° A 100°	GAZ CONSOMMÉ	HAUTEUR DU VASE
	lit.	
1 litre	43,7	20mm
»	41,5	30
»	47,4	40
»	47,1	50

Avec des chandelles Bunsen, on peut augmenter la hauteur et la porter sans inconvénient à 40 ou 50 millimètres.

EXPÉRIENCES DIVERSES DE CUISINE AU GAZ. — Afin de montrer tout le parti qu'on peut tirer du gaz pour la cuisine, lorsqu'il s'agit de préparer des aliments bouillis ou cuits à l'étuvée, nous allons résumer ici dans quelques tableaux les expériences faites à la Compagnie Parisienne du Gaz par M. Germinet[1].

Pot au feu au gaz.

Composition. . . . { Bœuf (compris os). . 0 kg. 970
Eau. . . . . 8 litres
Légumes variés.

ÉCUMAGE A 100°			ENTRETIEN DU BOUILLONNEMENT		
DURÉE DU CHAUFFAGE	CONSOMMATION		DURÉE DU CHAUFFAGE	CONSOMMATION	
	par heure	totale		par heure	totale
1 h. 25	197 lit.	280 lit.	5 h.	100 lit.	500 lit.

[1] Ces tableaux ont été insérés avec beaucoup d'autres, par M. Gustave Germinet dans son *Traité pratique du chauffage par le gaz*, Paris, 1875, Eug. Lacroix.

Dépense totale de gaz 780 litres.

Dépense argent. . . { Gaz à 0 fr. 30. . . . 0 fr. 23
Gaz à 0 fr. 25. . . . 0 fr. 195

Bœuf à la mode.

Composition. . . . {
Bœuf. . . . . . 0 kg. 970
2 jarrets de veau.
Carottes, oignons, etc.
Eau 1/2 litre.
1 verre d'eau-de-vie.

CUISSON	TEMPS	GAZ
	h.	lit.
Pour faire rissoler la viande.	0,15	60
Pour faire bouillonner et faire cuire ensemble les légumes et la viande.	1	70
Pour faire mijoter (ébullition soutenue) par heure 50 lit.	3	150
Ensemble.	4,15	280

Poule au riz

Composition. {
Poule pesant 0,920 kg. (après cuisson dans le pot au feu).
Riz. . . . 0,125
Lard. . . 0,100
Beurre. . 0,125
Bouillon 8/10 de litre pendant 0 kg. 750.
Persil et oignons.

CUISSON	TEMPS	GAZ.
	h.	lit
Cuisson du riz.	0,22	41
Pour faire revenir la poule.	0,16	34
Cuisson du mets composé.	1,42	152
Ensemble.	2,20	227

Chocolat au lait.

Composition . . .	1 litre de lait. Chocolat délayé dans un peu d'eau.
Temps.	15 minutes.
Gaz.	58 litres.

Poissons.

Composition. . . .	Mulet pesant. . . . 1 kg. 310 1 litre de vin blanc. 1 litre d'eau 1/4 litre de vinaigre. Légumes.
Temps.	35 minutes.
Gaz.	165 litres.

On a comparé la dépense du gaz, pour une même expérience, avec celle d'un autre combustible, le charbon de bois, par exemple, et on est arrivé aux résultats suivants pour chauffer de l'eau de 12° à 100° :

1° EMPLOI DU GAZ

Temps.	36 minutes.
Dépense du gaz.	185 litres.
Dépense argent { gaz à 0 fr. 30.	0 fr. 05
Dépense argent { gaz à 0 fr. 25.	0 fr. 46

2° EMPLOI DE CHARBON DE BOIS

Temps.	45 minutes.
Charbon employé, y compris les déchets inutilisables.	0kg,372
Dépenses argent : 0kg,375 × 0 fr. 20. . .	0 fr. 75

La dépense avec le charbon de bois, quand on tient compte de tous les éléments de perte, est donc de 50 pour 100 plus élevée.

Rotissoires au gaz. — Nous venons de voir que le gaz se prêtait très bien à la cuisson des aliments qui ne nécessitent qu'une simple ébullition. On peut également, en se servant d'appareils d'un autre genre, obtenir au moyen du gaz des pièces rôties et grillées dans de bonnes conditions.

Les premières tentatives de ce genre nous vinrent naturellement d'Angleterre, le pays des rôtis et des grillades. On débuta par la construction de fours chauffés extérieurement par du gaz et portés à une assez haute température pour que la viande puisse cuire; ni le gaz, ni les produits de la combustion n'étaient en contact avec la viande. Mais les pièces rôties au four n'ont pas, dans notre pays, le succès des pièces rôties devant un feu ardent, et on substitua au four de véritables rôtissoires.

M. Legrand, constructeur d'appareils à gaz, fabriqua une rôtissoire (fig. 52) composée :

1° D'un cylindre en fer étamé, fermé à l'une de ses extrémités ; à l'autre se trouvent deux portes facilement démontables, pour le lavage et l'entretien de l'appareil ;

2° D'un socle en tôle, dans lequel sont fixés deux brûleurs à mélange d'air et de gaz ;

3° D'une lèche-frite en fonte de fer étamée, placée dans l'intérieur du socle.

La chaleur développée par la combustion échauffe les parois intérieures du cylindre et rayonne sur la pièce à rôtir. Cet appareil peut être aussi employé à faire des grillades.

M. Jacquet imagina un autre système de rôtissoire qui fonctionne avec du gaz brûlant à flamme blanche,

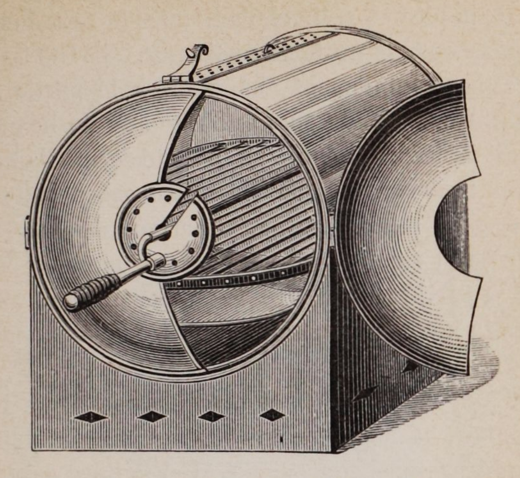


Fig. 52. — Rôtissoire de M. Legrand.

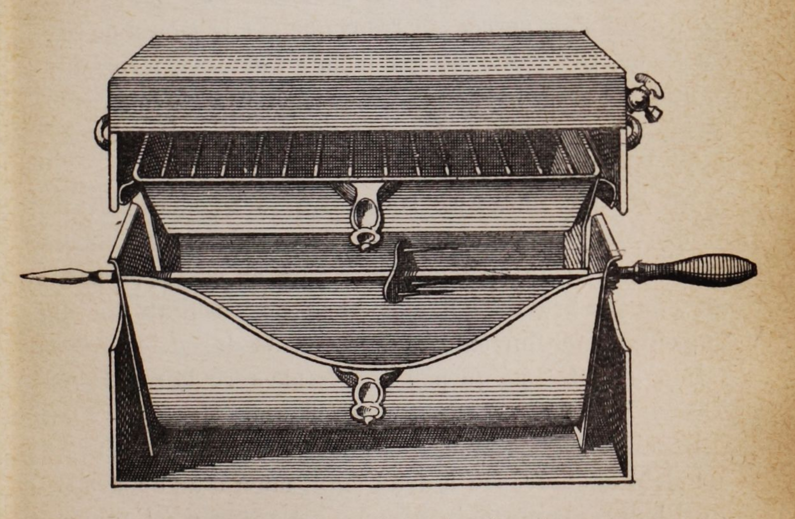


Fig. 53. — Rôtissoire système Jacquet.

sans mélange d'air. La rampe à gaz est placée au-dessus de la pièce à rôtir et n'agit que par rayonnement, absolument comme un feu de bois (fig. 53). Les flammes projetées horizontalement chauffent, à la partie supérieure, une plaque de tôle qui rayonne de la chaleur et qui est isolée de la boîte en tôle qui ferme l'appareil. La partie inférieure de la rôtissoire est découpée de manière à ne pas intercepter l'arrivée de l'air, et les produits de la combustion s'échappent par des orifices situés à la partie postérieure de l'appareil, pour se rendre dans la hotte communiquant avec la cheminée de la cuisine.

Il est souvent utile de pouvoir diminuer la puissance de l'appareil, afin de faire cuire, sans trop de dépense, des pièces de faibles dimensions. M. Vielliard a heureusement perfectionné dans ce sens la rôtissoire Jacquet. Pour cela, il fixe à l'appareil ordinaire une deuxième rampe qui n'est percée de trous que sur la moitié de sa longueur. Une petite cloison mobile s'abaisse, ferme la moitié de l'espace supérieur, et permet ainsi de localiser davantage la chaleur. Ce même appareil sert aussi à faire des grillades.

En France, toutes les rôtissoires sont généralement alimentées par des rampes à flamme blanche; nous avons essayé de faire marcher l'un de ces appareils avec du gaz brûlant à flamme bleue, les résultats obtenus ont été absolument identiques et la durée de l'opération a plutôt été un peu plus faible avec la rampe à flamme bleue, qu'avec la rampe à flamme blanche.

Depuis quelques années, la plupart des constructeurs ont établi un fourneau à deux feux, muni d'un appareil à grillades à la partie inférieure; cet appareil est muni

d'une double rampe, l'une alimentant à flamme bleue les deux foyers, dont l'un même a deux brûleurs distincts, et l'autre alimentant à flamme blanche l'appareil à grillade (fig. 54). Ce fourneau, d'un usage très commode et dont l'entretien est peu dispendieux, s'est rapidement propagé, grâce aux soins de la *Compagnie Parisienne du Gaz*, qui l'a mis sans frais à la disposition du consommateur.

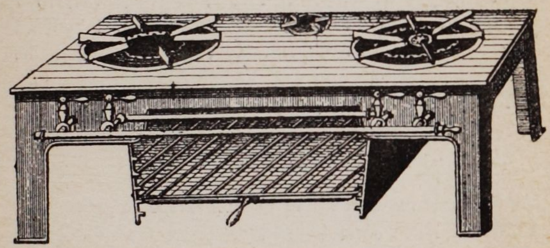


Fig 54.

On en compte environ 150.000 fonctionnant aujourd'hui à Paris seulement.

Résultats obtenus avec les rotissoirs au gaz. — Ainsi que nous l'avons fait pour les pièces soumises à une simple ébullition, nous donnons ci-dessous quelques tableaux résumant les résultats obtenus dans les rôtissoires et les appareils à griller.

Dinde rôtie.

Poids avant cuisson		3kg,065
Après cuisson non compris jus		2kg,600
	Différence	0kg,465
Temps employé		1 h. 30 m.
Gaz consommé		850 litres.
Dépense argent	gaz à 0 fr. 30	0 fr. 25
	gaz à 0 fr. 25	0 fr. 21

Gigot de mouton rôti.

Poids du gigot		$2^{kg},420$
Temps employé		1 h. 7 m.
Gaz consommé		664 litres.
Dépense argent	gaz à 0 fr. 30	0 fr. 20
	gaz à 0 fr. 25	0 fr. 17

Poulet rôti à la broche.

Poids du poulet		$1^{kg},370$
Temps employé		1 heure.
Gaz consommé		371 litres.
Dépense argent	gaz à 0 fr. 30	0 fr. 11
	gaz à 0 fr. 25	0 fr. 09

Grillade.

5 côtelettes de mouton cuites ensemble sur le gril.

Poids total des côtelettes		$0^{kg},470$
Durée de la cuisson		15 minutes.
Gaz consommé		125 litres.
Dépense argent	gaz à 0 fr. 30	0 fr. 37
	gaz à 0 fr. 25	0 fr. 06

Chaque côtelette pesant en moyenne 94 grammes, la dépense de gaz pour la cuire n'a été que de 25 litres.

Dans certaines cuisines, on a installé des appareils complets, analogues à ceux qui fonctionnent avec le charbon de terre et le coke. Ces appareils portent le nom de cuisinières et sont composés de deux, trois ou cinq feux, d'un bain-marie et d'une poissonnière ; à la partie inférieure se trouve une rôtissoire et une grillade.

Deux modèles très répandus sont figurés ci-contre (fig. 55, fig. 56), ils sont dus à M. Vielliard et à M. Legrand.

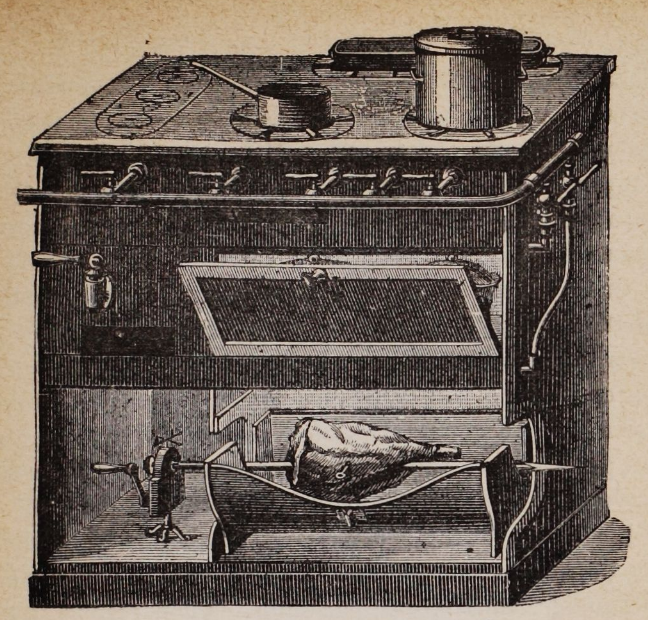


Fig. 55. — Cuisinière de M. Vielliard.

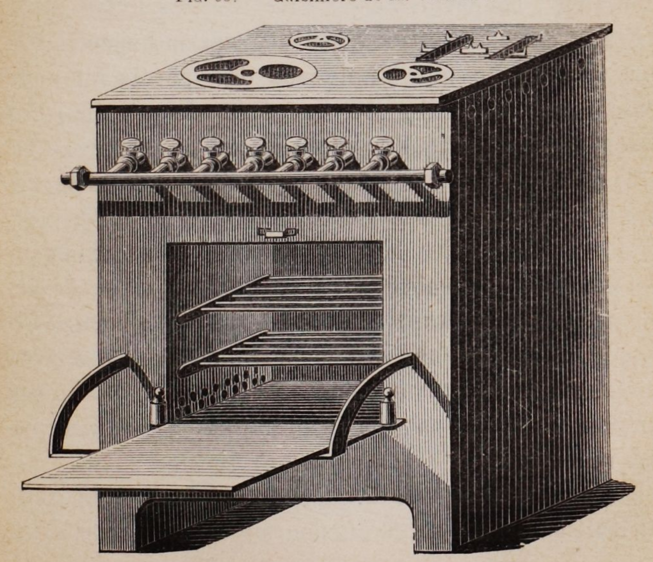


Fig. 56. — Cuisinière de M. Legrand.

La *Compagnie Parisienne* a fait construire un fourneau de cuisine pouvant servir alternativement ou même simultanément avec du coke et du gaz; la moitié de l'appareil est consacrée au coke, l'autre au gaz. Cet appareil, un peu compliqué, ne paraît pas s'être encore beaucoup répandu.

On a donné un certain développement aux grands fourneaux de cuisine au gaz, pour le service de quelques grands établissements comme le Crédit Lyonnais, par exemple, et nous avons pu voir, à l'Exposition universelle de 1889, une rôtissoire à gaz à plusieurs étages, qui permettait de rôtir 200 poulets par jour; la dépense moyenne de cet appareil est des 2400 litres à l'heure.

Lorsqu'on arrive à donner aux appareils de cuisine des dimensions importantes, on augmente la masse métallique des appareils et, par suite, la déperdition de la chaleur par les parois.

Il faut donc recourir à des dispositions spéciales si l'on veut éviter que l'influence des parois ait pour conséquence une dépense exagérée de gaz, surtout lorsqu'on fait fonctionner partiellement les appareils.

La cuisine au gaz est fort répandue en Angleterre, dans les intérieurs très riches, dans les hôtels de premier ordre, dans les hôpitaux, dans les magasins où l'on nourrit un nombreux personnel, etc. Nous ferons remarquer, en passant, que les personnes riches et les grands hôtels ont tous des chefs français qui font de la cuisine française et qui s'accordent à dire que le gaz convient admirablement à la préparation des mets les plus recherchés.

Les grands appareils de cuisine anglais se composent généralement d'un ou de plusieurs fours assez vastes, à

l'intérieur desquels le gaz brûle blanc ou bleu, suivant les constructeurs ; ils permettent de griller, de rôtir de grosses pièces de viande, de cuire le pain ou la pâtisserie.

Ces fours sont généralement surmontés d'un « hot plate », assemblage de brûleurs juxtaposés, au-dessus desquels on peut placer les différents vases culinaires.

Presque tous les fours, en Angleterre, ont une double enveloppe dans laquelle on place du coton silicaté, pour empêcher les déperditions de chaleur. L'intérieur de ces fours est souvent en acier émaillé, qui se prête à un nettoyage facile.

MM. James Slater et Cie, de Londres, qui ont construit beaucoup de grands appareils pour hôpitaux[1], font circuler l'air de combustion autour des parois du four avant de le laisser parvenir au brûleur, ils échauffent ainsi légèrement cet air. MM. Slater et Cie garnissent l'intérieur des fours de carreaux de faïence et revêtissent l'extérieur de leurs appareils de bois verni.

Un magasin de nouveautés de Londres, qui donne un déjeuner quotidien à ses 300 employés, consomme environ 30 mètres cubes de gaz par jour. Sa cuisine occupe un espace restreint de 80 mètres carrés environ.

La cuisine de l'hôpital de Middlesex, à Londres, qui est presque totalement faite au gaz, permet de nourrir 500 personnes, avec une dépense qui est à peu près proportionnelle à la précédente.

Nous pouvons rapprocher ces chiffres de ceux qui résultent d'un essai d'un mois fait à l'hôpital Saint-

[1] Dans un des appareils installés par ces constructeurs, on peut rôtir à la fois 400 livres de viande avec une dépense de huit mètres cubes de gaz.

Pierre, à Bruxelles. Cet hôpital contient 700 personnes; la dépense de gaz est ressortie exactement à 100 litres de gaz par personne et par jour.

Appareils divers d'économie domestique. — A côté des appareils destinés à la cuisine, dont nous avons signalé simplement les principaux types, viennent se placer d'autres appareils d'économie domestique, tels que les chauffe-assiettes, les chaufferettes, les brûleurs spéciaux pour fers à repasser, etc., etc. Parmi ces derniers, nous remarquons particulièrement les fers à repasser système Sarriot, à chauffage intérieur, ce qui empêche le contact du fer avec les matières grasses des fourneaux, et ensuite à suspension, ce qui permet de se servir, sans fatigue pour l'opérateur, des fers les plus lourds. Une disposition spéciale, employée en particulier par M. Davis, constructeur à Londres, et qui consiste à munir les appareils destinés au chauffage des fers d'un robinet automatique, rend l'usage du gaz assez économique.

Lorsque le fer est engagé dans l'intérieur de l'appareil, son propre poids détermine et maintient l'ouverture complète du robinet; dès qu'on retire le fer, le gaz ne brûle plus qu'en veilleuse.

Pour les cabinets de toilette, nous avons, en premier lieu, les réchauds du plus petit modèle pour bouillottes, puis nous devons à M. Fletcher un petit appareil qui donne très rapidement de l'eau chaude; il consiste en un cylindre à ailettes que traverse un courant d'eau; une rampe à gaz, placée au-dessous du cylindre, permet de transformer instantanément l'eau froide en eau chaude.

Chauffe-bains. — Enfin, une dernière application du gaz aux usages domestiques, qui demande quelques

détails, consiste dans l'établissement des chauffe-bains.

Les uns sont de simples thermosiphons, opérant par circulation continue d'eau chaude et d'eau froide, ils sont peu employés ; d'autres sont des appareils à bouilleurs et parmi ceux-ci nous citerons particulièrement le chauffe-bains de M. Vielliard. Il se compose (fig. 57)

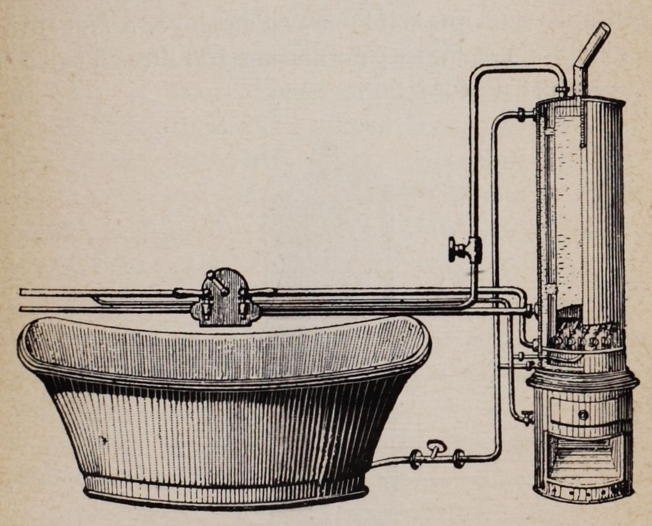


Fig. 57. — Chauffe-bains système Vielliard.

de trois cylindres concentriques, dont deux sont occupés par l'eau à chauffer, et le troisième intermédiaire renferme les produits de la combustion qui échauffent l'eau en s'élevant, et sortent par un tuyau d'échappement situé à la partie supérieure de l'appareil. Le foyer à gaz est formé de sept à huit brûleurs horizontaux, percés de trous, d'où se dégage le mélange d'air et de gaz, qu'on enflamme au moyen d'un petit allumoir à flamme

blanche. Au-dessous du chauffe-bains proprement dit, est placé un chauffe-linges qui surmonte un appareil à réflecteur, destiné à chauffer la pièce.

Une modification à cet appareil, qui consiste à faire arriver l'eau en pluie au contact des gaz brûlés, permet d'obtenir très rapidement de l'eau à la température nécessaire pour un bain. On a ainsi le *chauffe-bains instantané*. Quel que soit le moyen employé, il faut environ vingt-cinq minutes pour amener 100 litres d'eau à la température de 40° à 50°.

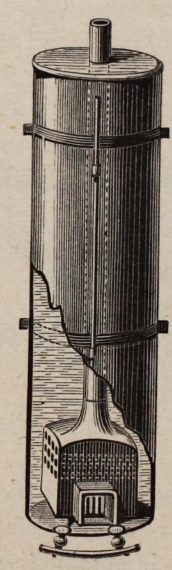


Fig. 58. — Chauffe-bains système Legrand.

M. Legrand a également construit un chauffe-bains (fig. 58) dans lequel l'eau est renfermée dans une série de tubes en cuivre, autour desquels circulent

les produits de la combustion. On est arrivé ainsi à augmenter la surface de chauffe. La consommation moyenne de cet appareil est d'environ 1 mètre cube de gaz par bain, et le temps nécessaire pour préparer un bain de 250 litres à une température de 30° à 32°, ne dépasse pas 30 minutes. Il faut avoir soin, au moment de l'allumage, d'allumer tout d'abord les brûleurs dont les produits se rendent directement dans le tube de dégagement et de les laisser brûler pendant deux ou trois minutes, afin d'établir un courant ascendant. Après cela, on allume les autres brûleurs.

En France, les chauffe-bains qui sont souvent placés dans des salles fort petites, sont généralement munis de tuyaux pour l'évacuation des gaz brûlés. Il faut éviter d'installer ces appareils dans le voisinage d'une cheminée à coke ou à houille à fort tirage ; l'appel de cette cheminée peut, en effet, renverser la marche des produits de la combustion dans les tuyaux de fumée et amener l'extinction des brûleurs.

Pour éviter ces inconvénients, en Angleterre, où le chauffage à la houille est très répandu, on préfère laisser déverser les gaz brûlés dans la salle de bains. Afin d'enlever toute toxicité à ces gaz; les constructeurs anglais emploient généralement dans leurs chauffe-bains, des brûleurs à flamme blanche.

On a imaginé différentes dispositions pour empêcher le dessoudage de l'appareil lorsque, par inadvertance, on allume les brûleurs sans ouvrir le robinet d'alimentation d'eau.

La méthode la plus simple consiste à maintenir constamment, dans le fond de l'appareil, une couche d'eau qu'il est impossible de vider.

Certains inventeurs se sont appliqués à construire des robinets de gaz automatiques dont la pression d'eau détermine l'ouverture. Nous ne croyons pas devoir recommander l'emploi de ces robinets automatiques ; si l'arrivée de l'eau vient à être interrompue pendant quelques instants, le gaz s'éteint, et il pourrait se répandre dans la salle de bain sans être allumé, lorsque l'eau revient.

Les résultats obtenus au moyen des divers appareils que nous avons passés en revue, expliquent le développement assez considérable que prend en ce moment le gaz pour les usages domestiques. Quoi de plus simple et de plus commode, en effet, que l'usage de ce combustible ! Avec la houille, le coke ou le charbon de bois, il faut constamment faire monter le combustible, le placer dans une caisse, avoir une série d'instruments spéciaux, puis de la braise, des copeaux ; après l'allumage, il faut souffler pour entretenir le feu, dégager les fumées en ouvrant les fenêtres et, lorsque la graisse tombe sur le foyer, il se produit des odeurs intolérables, enfin, une certaine partie du combustible est brûlée en pure perte.

Avec le gaz, rien de pareil, il arrive toujours ; à toute heure, il est à la disposition du consommateur ; on veut obtenir un feu vif, on ouvre le robinet en grand ; on le ferme à moitié, au contraire, si on veut faire cuire ou bouillir lentement ; le mets une fois cuit, on ferme tout à fait, rien n'est perdu. On a obtenu la chaleur désirée pour la cuisson, rien de plus, rien de moins, et les casseroles, lèchefrites et autres ustensiles, sont à peine ternis.

La cuisine au gaz a pour elle, a dit une conférencière anglaise que nous avons entendue pendant l'Exposition

Universelle de 1889, « l'hygiène, l'ordre, la propreté, la facilité, le contrôle parfait de la chaleur, l'économie de temps et d'argent. »

Le gaz, en brûlant, ne répand aucune odeur ; lorsque la combustion est complète, l'odeur qu'on perçoit quelquefois provient de ce que l'air n'est pas introduit en quantité suffisante, de ce que les trous des brûleurs sont obstrués avec des matières grasses, et enfin de ce que des parcelles organiques qui voltigent dans l'air viennent se brûler à la flamme. Il suit de là que les mets ne se ressentent nullement de ce mode de cuisson, n'ont aucun goût particulier, ni aucune odeur spéciale, ainsi que l'atteste un préjugé assez répandu, et que les rôtis et les grillades sont aussi parfaits qu'avec le meilleur feu de bois.

Le pot-au-feu lui-même, ce mets classique en France, avec l'emploi du gaz, approche de la perfection. Les savants les plus éminents, Boussingault, Payen, Liebig, Orfila, Chevreul, n'ont pas dédaigné de donner les règles à suivre pour bien confectionner cet aliment si modeste en apparence et pourtant si important. Six heures de cuisson, donnant à peine un faible bouillonnement de minute en minute, lui sont nécessaires pour que le bouillon ait acquis toutes ses propriétés aromatiques et nutritives et que le bœuf ait abandonné tous les principes qu'il doit livrer, sans devenir une viande sèche et sans suc. Un bouillonnement trop rapide, arrivé pendant l'opération, durcit la viande, trouble le liquide et entraîne, avec les flots de vapeur, tout l'arôme qu'il fallait concentrer ; l'émission parfaitement régulière et constante du gaz prévient tous ces derniers inconvénients.

Il est bon, toutefois, d'indiquer les précautions d'ordre général à prendre pour l'usage constant du gaz dans une cuisine. On devra s'assurer tout d'abord que la hotte et la cheminée ont un tirage suffisant pour évacuer rapidement tous les produits de la combustion, et comme cette combustion produit une assez grande quantité de vapeur d'eau, on aura soin de ménager des ventilateurs à la partie supérieure de la pièce où se prépareront les aliments.

Chauffage des appartements au moyen du gaz. — L'emploi du gaz pour le chauffage des appartements, qui avait été assez restreint jusqu'à ces dernières années, commence à prendre un certain développement, et nous allons examiner successivement les appareils qui conviennent le mieux pour ce genre de chauffage, en tenant compte tant de la puissance calorifique du gaz que des produits de la combustion et des principales conditions réclamées pour une bonne hygiène.

De même que les appareils de cuisine, les appareils de chauffage proprement dits se divisent en appareils à flamme blanche, sans mélange d'air, et en appareils à flamme bleue dans lesquels les brûleurs dérivent tous, plus ou moins, du bec Bunsen.

Lorsque le gaz brûle à l'air libre, avec une addition préalable d'air, et que la combustion n'est pas absolument complète, les produits de cette combustion laissent échapper une odeur caractéristique peu agréable, due à la présence d'une faible quantité d'acétylène. La quantité des produits gazeux qui échappent ainsi à l'action de l'air est trop faible pour avoir une influence appréciable sur le nombre de calories produites, mais au point de vue de l'hygiène, la nature de ces gaz est à con

sidérer. M. Iungfleich a démontré, en effet, qu'il y avait formation de cyanhydrate d'ammoniaque et d'oxyde de carbone.

Les appareils à flamme bleue présentent tous l'inconvénient, lorsqu'on veut faire baisser leur consommation au-dessous d'une certaine limite, de s'enflammer à l'injecteur. Ce fait provient de ce que le mélange d'air et de gaz est animé, avant d'arriver au brûleur, d'une vitesse de translation inférieure à celle avec laquelle l'explosion se transmet dans le mélange gazeux. Lorsque l'injecteur prend feu, le gaz brûle en présence d'une quantité insuffisante d'air, et comme l'a démontré M. Berthelot, il se forme une forte proportion d'acétylène ; l'odeur dégagée par les produits de la combustion devient très pénétrante et la proportion d'oxyde de carbone augmente.

L'impossibilité de diminuer la dépense d'un bec Bunsen sans risquer d'allumer l'injecteur, explique la nécessité de munir les appareils de chauffage à flamme bleue de plusieurs robinets. Quand on veut modérer la chaleur, on éteint un certain nombre de brûleurs.

La présence de l'oxyde de carbone dans les produits de la combustion des appareils à flamme bleue, doit donc faire rejeter ces appareils, lorsque les gaz brûlés sont déversés à l'intérieur des locaux chauffés.

Dans tous les cas où il est impossible d'installer des tuyaux de dégagement, et en l'absence de toute cheminée dans la pièce à chauffer, le gaz devient supérieur à tous les combustibles solides, si la combustion est complète, ce qui a lieu, par exemple, avec de bons becs d'Argand ; il se produit alors exclusivement de l'eau et de l'acide carbonique, qui ne peut être considéré comme

toxique qu'à très haute dose. La proportion d'acide carbonique versée dans l'air ambiant par les foyers à gaz sans tuyaux, est peu importante. D'après l'agenda allemand de Schaar, il faut compter, quand on fait usage de ces foyers, sur une consommation horaire de 300 litres par 100 mètres cubes de capacité. Ces 300 litres ne donnent naissance qu'à environ 200 litres d'acide carbonique, soit la deux millième partie du cube d'air chauffé. Cette proportion ne peut avoir aucune influence sur l'organisme, quand le séjour dans une pièce ainsi chauffée est de courte durée.

Il n'y a donc pas lieu de proscrire d'une façon absolue les appareils à gaz sans dégagement, et on peut en tolérer l'emploi pour quelques chauffages momentanés, comme dans les cabinets de toilette, par exemple, ou bien dans les locaux qu'on ne fait que traverser, vestibules, cages d'escalier, etc., ou encore dans des édifices très vastes et suffisamment ventilés, comme les églises, mais il faut, dans ces cas assez rares, faire usage d'appareils à flamme blanche à combustion complète ; la formation d'acétylène et d'oxyde de carbone accompagnant toujours, d'après Berthelot, la production de noir de fumée.

Lorsqu'il s'agit de chauffer des locaux dans lesquels on doit séjourner un certain temps, il est indispensable d'évacuer les produits de la combustion au moyen de tuyaux, dans lesquels ils doivent pénétrer avec la température minima nécessaire pour assurer le tirage et entraîner, si possible, toute la vapeur d'eau formée, avant qu'elle ne se condense.

Nous avons vu que le nombre de calories produites était sensiblement le même, que le gaz brûle bleu ou

blanc, la quantité de chaleur à déverser revient par suite au même prix avec des foyers à flamme éclairante, ou avec des foyers à flamme analogue à celle du bec Bunsen. Le choix des appareils à employer est donc subordonné à des considérations plus importantes que celle de la valeur du rendement calorifique, et particulièrement à la distribution de la chaleur produite.

Il ne suffit pas, en effet, pour qu'un espace soit convenablement chauffé, qu'on y déverse par unité de temps, un certain nombre de calories ; il faut que ces calories se distribuent le plus près possible du sol, car l'air chaud tend, par sa faible densité, à gagner de suite les couches supérieures. On doit donc s'attacher autant que possible, à chauffer les parties inférieures du local et par conséquent, dans l'étude d'un foyer, il suffit de mesurer l'élévation de température produite entre le sol et un plan horizontal situé à environ $1^{m},50$ du sol.

La quantité de chaleur émise par un foyer, se compose de la quantité de chaleur abandonnée à l'air ambiant par son contact avec des surfaces chauffées, et de la quantité de chaleur émise par rayonnement. La première de ces quantités a une influence relative très faible, l'air chaud s'élevant très rapidement, sans s'éloigner beaucoup du foyer ; au contraire, la chaleur rayonnante dont la transmission s'opère suivant les lois de l'optique, et dont les effets se font sentir à distance et à peu de hauteur au-dessus du sol, a une influence prépondérante.

APPAREILS DE CHAUFFAGE AU GAZ. — FOYERS OUVERTS. — Les principaux appareils de chauffage au gaz sont : les *foyers ouverts*, les *poêles* et les *calorifères*.

Les foyers ouverts eux-mêmes se subdivisent en trois catégories :

Les foyers agissant par simple rayonnement de la flamme du gaz ;

Les foyers munis de réflecteurs ;

Les foyers qui portent à l'incandescence des surfaces réfractaires ou métalliques.

Buches a gaz. — Dans les foyers du premier genre, les brûleurs sont en fonte et de diverses formes ; on leur a donné tout d'abord la forme de bûches superposées d'où le gaz s'échappe par de petites ouvertures,

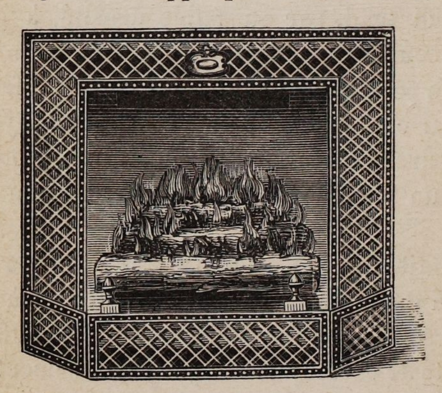


Fig. 59. — Bûches à gaz.

comme dans les appareils de M. Marini qui a été l'un des premiers promoteurs, en France, du chauffage au gaz. Plus tard, on a cherché à augmenter le rayonnement de la flamme au moyen d'un corps solide, l'amiante, qu'on porte au rouge, comme dans les foyers Legrand (fig. 59), ou encore au moyen de l'interposition d'un peu de limaille de fer qui devient incandescente.

Le gaz brûlant sans mélange d'air et avec une flamme

éclairante, ces bûches donnent l'illusion d'un feu de bois, mais de même que, pour ce dernier combustible, on n'utilise qu'une faible partie de la chaleur produite. M. Legrand s'est efforcé d'utiliser une partie de la chaleur perdue en chauffant l'air extérieur, qui passe dans une chambre spéciale ménagée dans l'enveloppe de la cheminée en tôle, et ayant sur sa face antérieure une galerie à jour qui donne issue à l'air chauffé.

Foyers a réflecteur. — Les foyers à réflecteur sont assez répandus, et le modèle le plus usité est celui qui

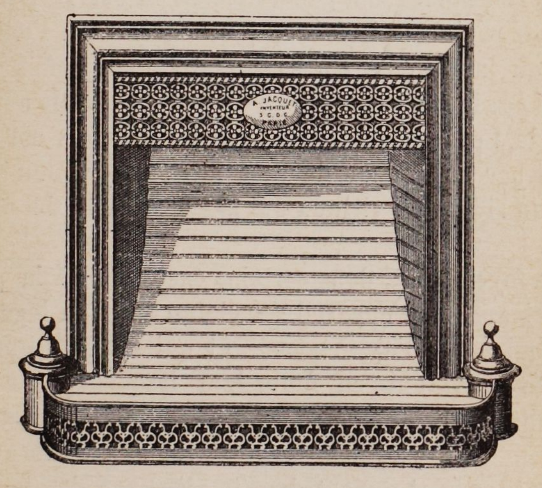


Fig. 60. — Foyer à réflecteur.

fut imaginé par M. Jacquet. Il consiste en un coffre généralement en tôle qui est ouvert à la partie antérieure, et qu'on peut introduire ou non dans une cheminée (fig. 60). Le fond du coffre est formé d'une feuille en cuivre poli, de forme parabolique, mais ondulée. Les

parois latérales sont également en cuivre poli, sans ondulations. A la partie supérieure de l'ouverture, et masquée par la tôle du coffre, se trouve une rampe par les trous de laquelle sort le gaz qui brûle blanc. Le brûleur se trouvant en quelque sorte au foyer de la parabole, les rayons calorifiques projetés sur le cuivre sont réfléchis horizontalement, et la température est assez élevée à environ 50 centimètres du sol ; afin de disperser la chaleur, on a eu soin d'onduler la surface paraboloïde.

Les réflecteurs sont généralement en cuivre pur dont la teinte rosée est beaucoup plus agréable à l'œil que celle du laiton poli. On s'est plaint quelquefois d'être ébloui par le réflecteur ; dans certains appareils anglais, ceux de Leeds où la rampe percée de trous est remplacée par une rampe de becs Manchester, on a interposé un rideau de vitraux qui modère l'éclat du réflecteur.

Ces foyers sont, dans certains cas, munis à la partie postérieure, d'un appareil refroidisseur qu'on loge dans la cheminée de l'appartement, et qui est constitué par une série de tubes en fonte dans lesquels passent les produits de la combustion, avant de gagner la cheminée d'appel. L'air provenant de l'extérieur, circule autour de ces tuyaux et revient dans la pièce par des bouches de chaleur. Enfin, le coffre en tôle du même appareil est souvent surmonté d'une seconde enveloppe en tôle, qui peut servir de chauffe-linge, de chauffe-assiettes, etc., etc.

Les foyers à bûche, avec amiante, ou les réflecteurs ne conviennent que pour un chauffage intermittent, et ne peuvent pas suffire, pendant une saison rigoureuse,

à entretenir dans de grandes pièces une température suffisamment élevée ; dans les foyers à bûche, en effet, on perd beaucoup de chaleur ; et on ne peut pas donner aux réflecteurs un développement assez considérable, pour que les rampes à gaz soient susceptibles d'un fort débit.

Un bon foyer, en effet, doit pouvoir débiter un fort volume de gaz et comporter un système de robinets, qui permette de modérer la consommation, quand on a obtenu la chaleur désirée.

On atteint en partie ces résultats au moyen d'appareils de chauffage, dans lesquels la flamme du bec Bunsen porte à l'incandescence des corps solides [1]. Il est facile de voir que les meilleurs de ces appareils sont, à incandescence égale, ceux dont la surface incandescente est verticale. En effet, nous avons déjà vu que l'on cherchait à obtenir le maximum de chaleur rayonnante émise horizontalement, dans le voisinage du sol. Cette chaleur rayonnante horizontale est, pour des mêmes surfaces portées à des températures identiques, mais inclinées dans différentes directions, proportionnelle aux projections des surfaces sur un plan vertical. Elle atteint donc son maximum quand la surface incandescente elle-même est verticale.

Foyer a boules d'amiante de la Compagnie parisienne du gaz. — La Compagnie parisienne du gaz a fait construire un foyer dans lequel on a porté à l'incandescence une série de boules en terre réfractaire mêlée d'amiante ; ces boules augmentent la surface de rayonnement et donnent à l'ensemble l'aspect d'un feu de coke.

[1] Pour éviter le sifflement du bec Bunsen, on remplace l'injecteur à un seul orifice de gaz, par un injecteur percé de plusieurs trous très rapprochés.

Le brûleur consiste en une série de rampes avec mélange d'air (fig. 61) ; chacune de ces rampes est commandée par un robinet spécial, ce qui permet de diminuer la chaleur développée, et par suite la dépense de gaz, sans nuire à la bonne allure du foyer. Ces appareils sont munis d'un système spécial pour la circulation de l'air froid, qui s'échauffe au contact d'une feuille de tôle située en arrière des boules incandescentes, et ressort dans la pièce par des bouches de chaleur.

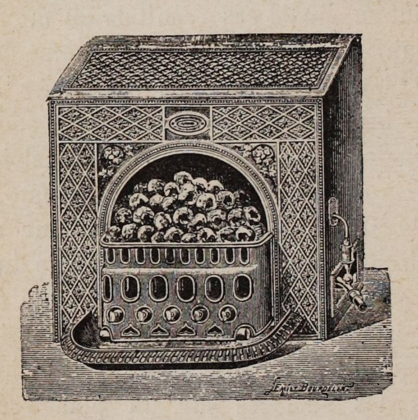


Fig. 61. — Foyer à boules.

M. Fletcher, de Warrington, a construit un foyer analogue ; les boules d'amiante sont placées seulement sur l'avant du foyer, et le fond est formé de pièces réfractaires : il n'existe qu'un espace de $0^m,06$ environ entre les barres qui maintiennent les boules d'amiante et les briques réfractaires, de façon à ce que la chaleur rayonnante de ces pièces réfractaires portées au rouge en même temps que les boules, puisse être facilement renvoyée en avant du foyer. Les boules ont une masse

assez faible, elles sont évidées de manière à présenter le plus grand développement possible de surfaces incandescentes visibles. Les brûleurs sont placés verticalement, au devant de l'appareil, de telle sorte que la chaleur puisse être modérée, soit en fermant un peu tous les robinets, soit en fermant tout à fait quelques-uns d'entre eux.

Ces appareils à boules sont très répandus en Angleterre, et construits également par MM. Sugg et Davis, à Londres, Wright à Birmingham, Main à Glasgow, etc.

Foyer Deselle. — M. Deselle, fabricant à Paris, avait installé au pavillon du gaz à l'Exposition universelle de 1889, un foyer formé d'une brique réfractaire, ondulée garnie de croisillons d'amiante. Cette brique placée immédiatement au-dessus d'une rangée de six chandelles Bunsen, dont la flamme porte l'amiante à l'incandescence, produit un effet analogue à celui du coke en combustion. La brique réfractaire est mobile, elle s'enlève et se replace à volonté. L'alimentation se fait au moyen d'une rampe placée à la partie antérieure de l'appareil. La brique réfractaire est entourée d'un cadre plus ou moins ornementé, monté sur une plaque de tôle rectangulaire, munie à droite et à gauche d'ailettes en tôle coulissant et s'écartant à volonté, suivant la longueur de la cheminée où le foyer doit être placé ; il suffit ensuite d'abaisser le rideau de la cheminée pour combler la différence de hauteur.

L'appareil est muni en arrière d'un pied de biche qui le tient en équilibre verticalement, et d'une poignée isolatrice articulée, permettant de le transporter facilement d'une cheminée dans l'autre.

Ce foyer mobile à volonté chauffe par rayonnement ;

un intervalle suffisant ménagé entre la partie supérieure du cadre et celle de la brique réfractaire, forme cheminée d'appel et permet d'évacuer les produits de la combustion à l'intérieur du coffre de la cheminée.

La brique réfractaire, ayant une épaisseur de 7 centimètres, emmagasine beaucoup de chaleur, et le rendement de cet appareil paraît très satisfaisant. La consommation avec le robinet ouvert en grand, peut être de 550 litres à l'heure, mais dès que la brique est chaude, on peut ramener la consommation à 300 litres.

CHEMINÉE CLAMOND. — La cheminée de M. Clamond (fig. 62) se compose de deux plaques en terre réfractaire légèrement cintrées, percées de trous, et laissant entre elles un espace de quelques millimètres. Au-devant de ces plaques, se trouve une porte en tôle également percée de trous. Un bec Bunsen, muni d'une toile métallique, amène le gaz au brûleur qui se compose d'un simple tube fendu sur toute sa longueur. Le tout est entouré d'un cadre en fonte avec socle d'un aspect très décoratif.

Le brûleur est situé entre les plaques réfractaires; ces dernières sont rapidement portées au rouge, la porte en tôle également, et la chaleur rayonnante est assez vive ; le foyer cependant conserve un aspect triste. L'air froid destiné à la combustion se prend au ras du sol, et les produits de la combustion sont entraînés par la cheminée de dégagement placée derrière l'appareil. L'injecteur est percé de plusieurs petits trous et, lorsque l'appareil est en marche, il ne se produit ni sifflement ni ronflement. Une pièce cubant 80 mètres a été maintenue régulièrement à une température de 16° avec un appareil Clamond consommant 750 litres à l'heure.

Les foyers en fonte de ce type peuvent être montés sur l'âtre des cheminées existantes.

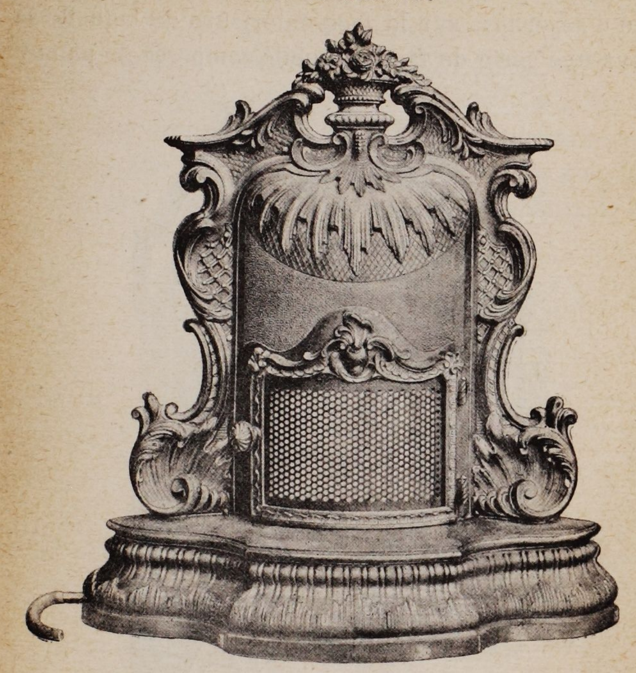


FIG. 62. — Cheminée Clamond.

Le même système a été adapté à une cheminée mobile, construite entièrement en cuivre, et qui porte à l'arrière une sorte de coffre en tôle à double enveloppe. Entre les feuilles de tôle, portées à haute température par les produits de la combustion, on fait circuler de l'air froid qui s'échauffe et vient sortir en avant par des bouches ménagées dans le cuivre ajouré.

Cette disposition utilise naturellement mieux la chaleur dégagée que la précédente.

Foyer système Fletcher. — Le foyer de M. Fletcher (fig. 63) se compose d'une pièce réfractaire couverte d'aspérités, sur la face antérieure de laquelle se trouve une sorte de façade mobile composée de palmes

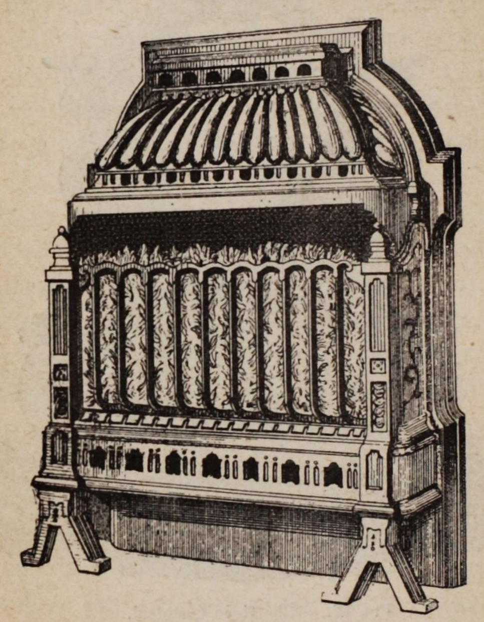


Fig. 63. — Foyer Fletcher.

en fonte disposées verticalement, derrière lesquelles sont fixés des filaments d'amiante. Un bec Bunsen à plusieurs jets brûle entre la pièce réfractaire et les palmes en fonte, et porte le tout au rouge. Le feu est d'un aspect assez vif et le rayonnement est considérable. On perçoit dans cet appareil un léger sifflement, dû à la forme spéciale de l'injecteur, mais on peut y remédier très facilement.

Foyer Wilson. — M. Wilson, constructeur à Leeds (Angleterre) a établi un foyer à gaz analogue au précédent, il est formé d'une enveloppe en fonte renfermant une tablette réfractaire ondulée placée verticalement. Au-devant de cette tablette, une sorte de grille en fonte formée de barreaux simulant des branchages est portée au rouge par une rampe de quatre ou cinq brûleurs Bunsen, courant parallèlement aux barreaux de la grille.

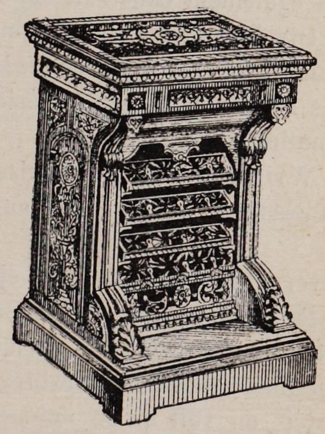


Fig. 64. — Foyer parisien système Wilson.

On peut, au moyen de robinets de commande spéciaux, fermer deux ou trois de ces robinets, et diminuer l'intensité du feu. Les branchages de fonte, ainsi que la brique réfractaire ondulée, sont portés au rouge et chauffent par rayonnement. Un thermomètre placé à $0^m,30$ de hauteur et à une distance de $0^m,50$ de l'appareil a indiqué une température de 48°. La consommation horaire de gaz était de 700 à 800 litres.

Avec cet appareil que nous avons expérimenté dans

les bureaux de la Compagnie du chemin de fer du Nord, on est arrivé à chauffer très convenablement, pendant une saison rigoureuse, un local de 154 mètres cubes.

Le fonctionnement de l'appareil Wilson ne donnelieu à aucun sifflement ; on est arrivé à ce résultat en transformant l'injecteur et en faisant arriver le gaz par quatre ou cinq petits orifices au lieu de le faire arriver par un seul.

M. Wilson a également construit sur le même principe, un foyer enveloppé avec circulation d'air (fig. 64) auquel il a donné le nom de *foyer parisien*. Cet appareil fournit des résultats un peu supérieurs pour une même consommation de gaz.

MM. Davis, Wright et Main construisent à Londres, Birmingham et Glasgow, des appareils analogues à fonte incandescente.

Dans ces divers appareils, c'est la chaleur rayonnante qui joue le principal rôle, et comme cette chaleur rayonnante est proportionnelle à la surface échauffée et fonction exponentielle de la température à laquelle la surface est portée, on voit qu'on augmente très rapidement la chaleur rayonnante, en élevant la température d'incandescence.

Foyer a récupération système Foulis — On a donc essayé de chauffer l'air comburant destiné à l'alimentation du brûleur et M. Main, constructeur à Glasgow, a établi, sur les conseils de M. Foulis, directeur du gaz de Glasgow, un appareil dans lequel l'air nécessaire à la combustion est chauffé indirectement par les gaz brûlés. La coupe ci-jointe (fig. 65) indique comment fonctionne l'appareil.

Le gaz est entièrement brûlé dans une chambre de

combustion formée de briques réfractaires ; la température y est très élevée et le caractère spécial de cet appareil consiste précisément dans cette combustion complète effectuée dans une chambre à part, sans que la flamme soit mise en contact direct avec les matières à porter à l'incandescence.

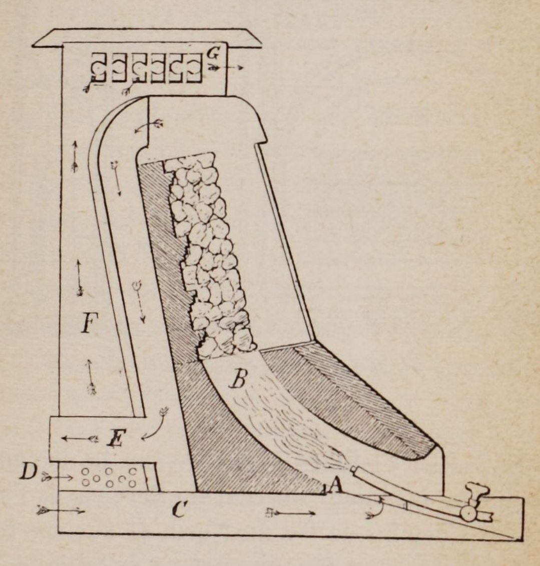


Fig. 65. — Foyer Foulis.

A. Brûleur. — B. Chambre de combustion. — C. Chambre destinée au chauffage de l'air comburant. — D. Entrées d'air froid. — E. Dégagement de la cheminée. — F. Chambre pour chauffer l'air. — G. Sortie de l'air chaud.

Les gaz brûlés portent au rouge des surfaces réfractaires ou métalliques, et ressortent à la partie postérieure de l'appareil, après avoir longé une sorte de coffre dans lequel circule l'air froid venant de l'extérieur et qui est destiné à chauffer l'appartement.

L'air destiné à la combustion pénètre à la partie inférieure de l'appareil, après avoir été mis en contact avec une des parois du coffre, contre laquelle il s'échauffe avant d'arriver au brûleur.

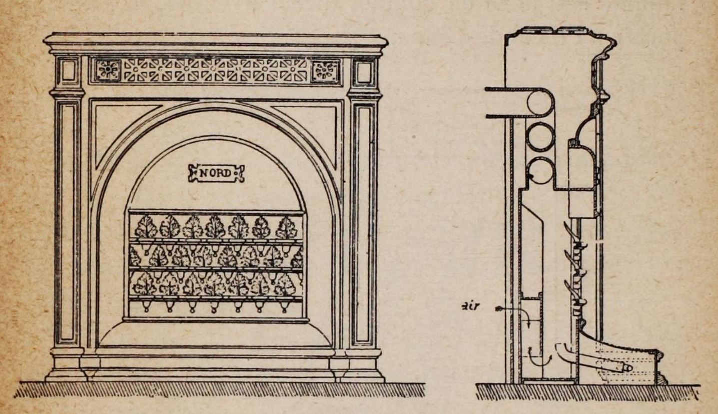


FIG. 66. — Foyer de la Cie du Chemin de fer du Nord.

Enfin M. L. Vielliard (fig. 66), sur la demande de M. Sartiaux, ingénieur en chef du Service de l'exploitation des Chemins de fer du Nord, et sur nos indications, a construit un foyer à surface métallique incandescente, enfermé dans une enveloppe en fonte dont les dessins sont dus à M. Dunnett, architecte à la Compagnie du Nord.

Ce foyer se compose d'une plaque réfractaire contre laquelle viennent s'appuyer une série de barrettes en fonte formées de feuillages. Les brûleurs Bunsen, au nombre de quatre, destinés à porter cette fonte à l'incandescence, ont été installés conformément au type adopté par M. Berthelot pour rendre plus difficile l'in-

flammation de l'injecteur. L'air destiné au mélange gazeux arrive froid tel qu'il est pris à l'extérieur ; l'air comburant, au contraire, est soumis à un échauffement préalable par son passage dans des compartiments à nervures portés à haute température, par les produits de la combustion. On parvient ainsi à augmenter, dans une certaine mesure, la température d'incandescence et par suite la quantité de chaleur rayonnante des surfaces métalliques.

La quantité de chaleur qui n'a pas été transformée en chaleur rayonnante est utilisée en partie pour chauffer de l'air froid qui circule dans une double enveloppe, et ressort dans la pièce par des bouches disposées à cet effet. On peut à volonté, au moyen d'un jeu de robinets, employer les quatre brûleurs simultanément, ou en faire marcher deux seulement.

Les résultats obtenus avec cet appareil paraissent jusqu'ici très satisfaisants.

Tous ces foyers nécessitent un bon tirage, pour enlever rapidement les produits de la combustion et empêcher le refoulement du gaz des brûleurs dans la pièce à chauffer.

Poêles a gaz. — Les poêles à gaz sont en général de simples enveloppes en tôle ou en faïence, dans l'intérieur desquelles on fait brûler un ou plusieurs becs de gaz à flamme blanche ou à flamme bleue. L'enveloppe s'échauffe et rayonne dans la pièce. Souvent pour chauffer d'une façon intermittente de petits espaces ou des locaux très vastes et bien ventilés, on n'adapte pas à ces poêles des tuyaux de dégagement. Les poêles sans tuyaux qui nous paraissent les plus utilisables pour ces circonstances exceptionnelles, sont ceux installés dans

certains cas par la maison Lacarrière-Delatour ; ils sont formés de becs d'Argand ordinaires avec cheminées en verre, entourés d'une enveloppe en tôle. En empêchant le bec de filer, ce que l'on obtient facilement avec des bons rhéomètres, on n'a pas à redouter l'odeur de l'acétylène ou l'insalubrité de l'oxyde de carbone.

Un des principaux inconvénients des poêles sans tuyaux réside dans la grande quantité de vapeur d'eau qu'ils déversent dans les locaux à chauffer. L'air est rapidement saturé d'humidité, et cette humidité se condense sur les murs, sur les vitres et les boiseries. Dans les églises de Berlin, chauffées au gaz, on a constaté que les vases sacrés, les lampadaires et tous les objets métalliques avaient besoin d'un fréquent nettoyage à cause de ces condensations de vapeur.

Il est donc à peu près indispensable de faire évacuer les produits de la combustion dans une cheminée. D'ailleurs, ces poêles ont, en outre, l'inconvénient de ne produire aucune ventilation dans la pièce à chauffer. Les poêles sans tuyaux d'échappement, dans lesquels le brûleur est constitué par un ou plusieurs becs d'Argand, sont cependant assez répandus en Angleterre. Les grandes compagnies de gaz, à Londres, les installent elles-mêmes ou les donnent en location à leurs abonnés.

Dans tous ces poêles, les produits de la combustion sont refroidis par un passage au travers de tubes en cuivre, verticaux, de longueur suffisante. Une cuvette, placée à la partie inférieure, permet de recueillir l'eau de condensation.

Des types de ces poêles sans tuyaux, destinés à être placés dans des *bars*, sont munis de réservoirs qui contiennent des boissons chaudes.

Calorifères a gaz. — Les calorifères diffèrent des poêles en ce qu'ils sont munis d'une double enveloppe, qui permet de chauffer de l'air et de le renvoyer dans la pièce ; l'enveloppe extérieure joue en même temps le rôle de surface rayonnante. Tous ces calorifères sont installés avec des tuyaux de dégagement pour les produits de la combustion, qui ne peuvent rentrer dans l'intérieur de la pièce, et la ventilation est suffisamment assurée, quand on a soin d'avoir des entrées d'air en rapport avec les dimensions du local que l'on se propose de maintenir à une température convenable.

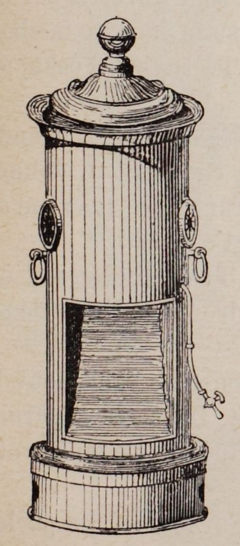


Fig. 67. — Poêle à gaz.

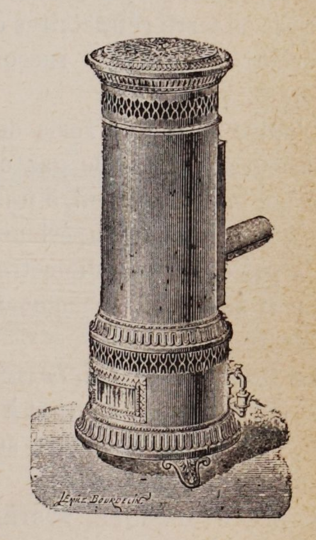


Fig. 68. — Calorifère tambour de la Cie Parisienne du Gaz.

Parmi les types de ces calorifères, nous citerons d'abord le calorifère à réflecteur de M. Vielliard (fig. 67),

puis le calorifère dit *tambour*, de la *Compagnie Parisienne du Gaz* (fig. 68).

Calorifère tambour de la Compagnie Parisienne du Gaz. — Le trait distinctif de ce dernier appareil c'est son débit fixe, proportionné à ses dimensions, à sa masse. Ce débit fixe, invariable, a permis d'utiliser les flammes blanches, dont l'emploi est peu usité dans les appareils de chauffage, à cause des fumées et des dépôts charbonneux qui se produisent, lorsque la consommation vient, sous l'influence des pressions, à dépasser les limites normales.

Les produits de la combustion sont refroidis par des plaques en terre réfractaires et ensuite dans un tambour extérieur auquel est raccordé le tuyau d'échappement.

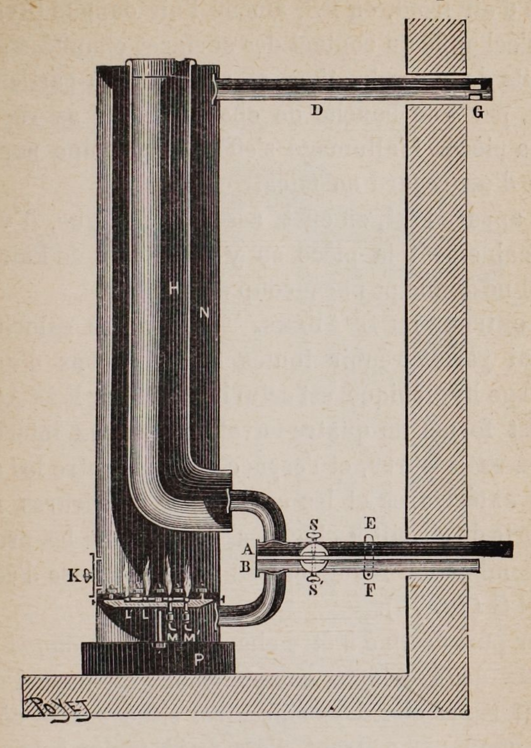
D'autre part, une série de tubes en cuivre, chauffés extérieurement par le gaz de la combustion, donnent passage intérieurement, à un courant d'air qui vient déboucher à la partie supérieure de l'appareil.

Ce poêle, pour un diamètre de 30 centimètres et une hauteur de $1^{m},03$, consomme environ 900 litres de gaz à l'heure.

La *Compagnie Parisienne* construit également des calorifères mixtes, à gaz et à coke. Dans ces appareils, une grille à coke peut être substituée instantanément à un brûleur à gaz.

Poêle hygiénique, système Potain. — Le poêle à gaz de M. J.-E. Potain (fig. 69) se distingue de la plupart des appareils similaires, en ce que l'air nécessaire à la combustion est pris au dehors de la pièce à chauffer. Pour obtenir ce résultat, une prise d'air à double orifice, amène en FS'P l'air nécessaire à la combustion du brû-

leur à flamme blanche, alimenté en MM′ par une con-



Coupe EF

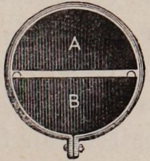


FIG. 69. — Poêle hygiénique, système J.-E. Potain.

duite munie de rhéomètres Giroud. Les produits de la combustion s'élèvent dans l'espace annulaire N et sortent

en G, par le tuyau de dégagement D. Le deuxième orifice d'air froid, en ES, amène l'air dans le tuyau H, où il s'échauffe au contact des surfaces chauffées par les produits de la combustion, et ressort à la partie supérieure, par une bouche de chaleur, pour se répandre dans la pièce. L'allumage s'effectue par une porte K, munie d'un regard en mica.

Cet appareil est, en effet, assez hygiénique, il ventile convenablement la pièce en y répandant de l'air pur, mais il ne donne pas beaucoup de chaleur.

Calorifère du Dr Adams. — Un autre calorifère à gaz qui paraît réunir toutes les conditions d'un bon chauffage hygiénique, est celui imaginé par le Dr Adams.

Il est formé de quatre enveloppes, deux intérieures et deux extérieures, et l'espace compris entre les enveloppes extérieures et les enveloppes intérieures forme une sorte de circuit à chicanes, dans lequel les produits de la combustion regagnent lentement la buse d'échappement G (fig. 70).

L'air pur, destiné à être chauffé, pénètre dans l'appareil par deux orifices complètement distincts l'un de l'autre; le premier des orifices est situé sur le côté du poêle, en A, le courant d'air froid arrive à la partie inférieure, une portion de cet air sert à alimenter la combustion des brûleurs et tout le surplus remonte immédiatement dans l'enveloppe extérieure, où il s'échauffe et sort par des bouches de chaleur.

Le deuxième orifice d'entrée d'air froid est à la partie supérieure de l'appareil; l'air forme une colonne descendante jusqu'à une cloison chaude, située au-dessus du brûleur, de là il remonte dans la seconde enveloppe intérieure pour sortir également par des bouches de

chaleur. Le brûleur est formé de cinq becs d'Argand, avec verres.

Cet appareil produit, paraît-il, une excellente ventilation en même temps qu'il fournit de l'air chaud à une température suffisamment élevée.

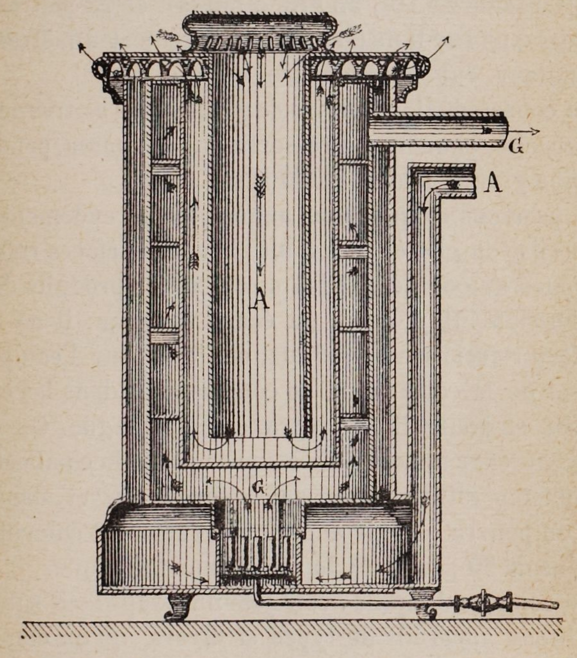


Fig. 70. — Calorifère à gaz du Dr Adams.

Calorifère Wilson. — M. Wilson a utilisé ses foyers à surfaces incandescentes, dont nous avons parlé, et les a placés dans une enveloppe en fonte plus ou moins ornementée, dont l'ensemble constitue un poêle assez élégant. Une circulation d'air chaud est établie à l'intérieur, et cet air chaud étant porté à une tempéra-

ture assez élevée, on réussit à chauffer, avec cet appareil, de vastes espaces.

Au Chemin de fer du Nord, deux calorifères Wilson consommant, au maximum, 1 mètre cube chacun à l'heure, ont porté à plus de 15° (avec une température extérieure de — 10°) un grand bureau de 13 mètres 50 de longueur sur 9 mètres 90 de largeur et 4 mètres 15 de hauteur, cubant 555 mètres cubes.

La consommation horaire de gaz par 100 mètres cubes de capacité, chauffée est ressortie au maximum, pendant les plus grands froids, à 360 litres.

Nous avons vu que, pour augmenter le rendement des appareils, on cherchait à multiplier les surfaces refroidissantes autour desquelles circulent les produits de la combustion. Il y a ici un écueil à éviter; il ne faut pas trop refroidir ces produits, car la vapeur d'eau provenant de la combustion se condenserait dans les cheminées et pourrait les dégrader à la longue. On doit donc chercher à maintenir les produits de la combustion à une température un peu supérieure à 100° et, dans ce cas, on pourra obtenir encore un rendement calorifique de plus de 60 pour 100 du rendement théorique.

On comprend, après avoir jeté un coup d'œil sur les nombreux appareils de types si divers, qu'on emploie au chauffage des appartements, que ce genre de chauffage prenne chaque jour un développement de plus en plus considérable. Au début, le gaz était considéré comme un combustible ne pouvant servir qu'à des chauffages intermittents, mais peu à peu l'emploi des appareils à incandescence et à circulation d'air a modifié cette opinion. La chaleur obtenue est assez considérable pour chauffer de grands espaces sans dépense

exagérée et, quand on considère les autres avantages qu'amène l'emploi du gaz, plus de maniement de combustible, aucun enlèvement de cendres, pas de ramonage de cheminées, pas d'instruments spéciaux, chaleur intense obtenue instantanément, facile à maintenir ou à diminuer au moyen d'un simple robinet, on reconnaît rapidement la supériorité de ce combustible.

CHAPITRE VIII

APPLICATIONS INDUSTRIELLES DU GAZ, SON EMPLOI DANS LES LABORATOIRES

Grillage et flambage des tissus. — Fers à repasser, fers à souder au gaz. — Fusion des métaux. — Four Perrot. — Utilisation du gaz dans les grandes cristalleries et pour le travail du verre. — Chaudières à vapeur chauffées au gaz. — Four chauffé au gaz. — Gonflement des ballons — Emploi du gaz dans les laboratoires. — Grille à analyses. — Fours à incinérations. — Températures élevées. Chalumeau Schlœsing. — Températures constantes ; Etuves à double paroi, à bain d'huile, à bain d'eau. — Régulateur Schlœsing. — Etuve à régulateur métallique.

Depuis longtemps déjà, le gaz a trouvé dans l'industrie un emploi avantageux. La facilité d'avoir de suite une température élevée produisant un effet immédiat, sans prolonger la dépense dès que le résultat est obtenu; la possibilité de multiplier en grand nombre les foyers, de les diminuer à volonté suivant l'importance de la fabrication, par un simple prolongement de conduite ou une simple disposition des robinets, ont séduit aussitôt un grand nombre d'industriels, et dès que le gaz a pu être mis à leur disposition, ils s'en sont servi.

Les applications industrielles varient de forme et d'importance suivant la nature de l'industrie. Chacun, a fait construire les appareils qui convenaient le mieux à son genre de travail, aux dispositions particulières de l'atelier, etc., etc.

GRILLAGE ET FLAMBAGE DES TISSUS. — Le grillage est la première opération que subissent les tissus avant le blanchiment ou la teinture; il a pour but de faire disparaître les filaments les plus déliés échappés à la torsion du fil et qui forment sur le tissu un duvet modifiant l'aspect qu'on veut obtenir.

Cette opération se pratiquait autrefois en faisant frotter rapidement le tissu sur une plaque métallique rougie au-dessus d'un foyer; mais, depuis longtemps, on lui a substitué le flambage au gaz, qui présente de notables avantages.

Les premières machines de flambage au gaz importantes furent construites par M. Cook, de Manchester, en 1860, et par M. Tulpin, de Rouen, en 1866; une nouvelle machine est due à M. Blanche, de Puteaux; les constructeurs de cette machine, MM. Pierron et Dehaître, ont établi un appareil à griller dans lequel on fait passer le tissu sur un rouleau, en face d'une ou deux rampes de becs Bunsen, à chapiteau méplat[1]. La distance de la rampe au tissu est d'environ 15 à 18 millimètres, mais on peut encore la diminuer si les circonstances l'exigent. La dépense de gaz par mètre de rampe est de 2500 litres à l'heure, et les rouleaux ont environ $2^m,30$ de longueur. Une plomberie de 50 millimètres de diamètre est nécessaire pour la canalisation du gaz.

Les *rubans de soie*, les *passementeries*, les *broderies*, etc. peuvent être grillés sur une machine analogue; on place cinq ou six pièces de rubans sur un

[1] Voy. C.-L. Tassart, *L'industrie de la teinture* (Bibliothèque des connaissances utiles). Paris 1890, p. 23 et fig. 3 et 4, Léo Vignon, *La soie au point de vue scientifique et industriel*, Paris 1890, p. 317, fig. 77.

rouleau et on les fait passer simultanément au-devant d'une rampe à gaz.

Fers a repasser, fers a souder au gaz. — Nous avons vu comment on pouvait chauffer un fer intérieurement ou extérieurement, au moyen du gaz. Ce procédé rend l'emploi du gaz presque indispensable dans la *chapellerie*, pour la fabrication des chapeaux de feutre et les coups de fer ; dans la *cordonnerie*, pour fixer les élastiques entre les deux tiges des bottines, pour brunir les talons et lisser le pourtour des semelles ; dans la *reliure* et dans la *dorure* sur papier et sur carton ; dans le *gaufrage* sur étoffes ou sur papier : enfin, chez les fabricants de *papiers peints*, pour faire à chaud le reps sur l'or et le frappage sur velouté.

L'article de Paris, en papier et en carton, qui comprend une multitude d'objets décorés en relief et dorés, se fait aussi avec des fers chauffés au gaz.

La *soudure des métaux* s'opère avec des fers à souder chauffés au gaz, dans un grand nombre d'industries, chez les *bijoutiers en doré*, chez les ferblantiers, pour la soudure des boîtes de conserves, et là, l'économie sur l'ancien système a été de plus de 50 pour 100 avec le gaz ; les *fabricants de vitraux* d'église, les *lampistes*, les *plombiers-zingueurs* ont tous recours au gaz.

Les fabricants de *simili-bronze*, d'ornements et lettres en *zinc estampé*, se servent également de fers à souder au gaz. Son emploi, en effet, a rendu singulièrement plus hygiénique le séjour dans de petits ateliers mal aérés, où les réchauds de charbon de bois joignaient leur oxyde de carbone aux émanations diverses, provenant des vernis et autres matières, ce qui occasionnait aux ouvriers des malaises intolérables.

Les *tailleurs*, les *coiffeurs*, ont des réchauds spéciaux pour les fers à rabattre les coutures, pour friser, etc., etc.

Les *peintres en bâtiment* ont un brûloir pour griller les anciennes peintures avant l'application de nouvelles couches. On a même imaginé, pour cette industrie, un appareil à gaz dit *brûloir à abri-vent*; c'est une sorte de chandelle Bunsen, surmontée d'une tôle cintrée, demi-circulaire et qui, une fois allumée, ne s'éteint pas, même au milieu d'un courant d'air assez vif.

Dans les grands abattoirs, on se sert du gaz pour le grillage des poils d'animaux et en particulier pour le grillage des porcs. Enfin, pour les chevaux qu'on tondait autrefois avec une torche de paille, on a remplacé cette dernière par une torche à gaz.

Fusion des métaux. — L'industrie des métaux a utilisé le gaz sur une grande échelle. Nous avons pu voir une des principales fonderies de caractères d'imprimerie de Paris, où tout le metal est fondu dans des lingotières chauffées au gaz. C'est un simple bec Bunsen qui brûle au-dessous d'une lingotière en fonte, entourée d'une enveloppe en terre réfractaire, pour empêcher la déperdition de la chaleur. L'alliage de plomb et d'antimoine est maintenu constamment à l'état de fusion dans les lingotières, c'est-à-dire que la température est toujours comprise entre 210° et 220°. Tous les creusets, en grand nombre, sont répartis dans l'atelier, et c'est à peine si, en entrant, on peut s'apercevoir de la présence d'appareils de chauffage quelconques.

Four Perrot. — M. Perrot a imaginé un appareil qui permet de fondre des quantités importantes de métal, or, cuivre rouge, fonte de fer, etc., dans un

creuset placé dans une sorte de moufle chauffé au gaz. Le gaz arrive (fig. 71) par une série de brûleurs Bunsen TT′ disposés circulairement, le gaz de chacun des brûleurs pénètre à la base du moufle sans se mé-

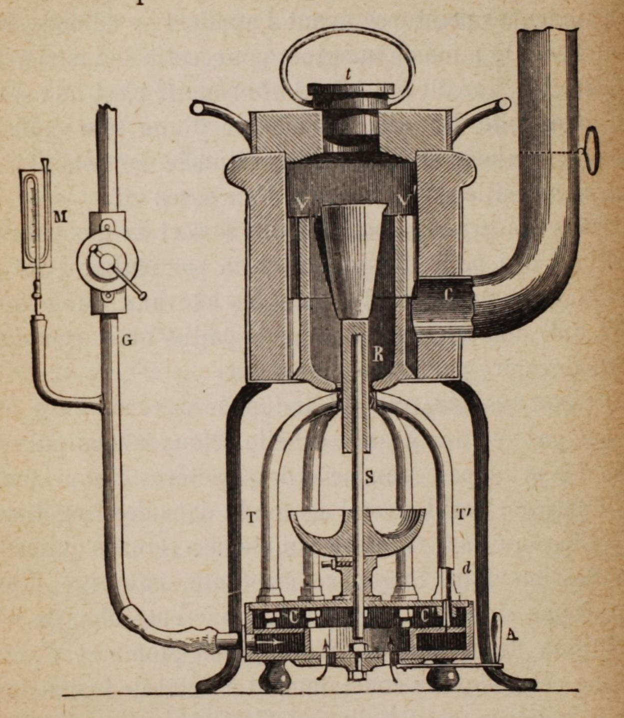


Fig 71. — Four Perrot.

langer avec celui des autres brûleurs ; il s'allume, la flamme rencontre des surfaces peu conductrices, et ce n'est qu'après avoir été surchauffées par ces surfaces portées à une température élevée, que toutes les flammes ne forment plus qu'un seul faisceau. Le degré d'écartement des flammes est tel, à l'entrée du four-

neau, qu'il ne puisse pas pénétrer, en même temps qu'elles, plus d'air que n'en comporte la combustion complète du gaz de chacune d'elles.

Le moufle est chauffé sur la surface externe aussi bien que sur la surface interne; le creuset est maintenu par un support S. fixé au bâti du brûleur lui-même. On produit ainsi des températures élevées, sans avoir recours à une soufflerie et avec la pression ordinaire du gaz dans les conduites,

Il suffit, pour l'appel d'air, d'une cheminée de 2 à 3 mètres de hauteur seulement, qui doit, autant que possible, déboucher directement dans l'atmosphère, afin que son tirage ne soit pas contrarié.

M. Wiesnegg a perfectionné cet ingénieux appareil en formant le moufle intérieur de briquettes mobiles, à ailettes, donnant un plus grand développement de surface de chauffe. Un couvercle *t*, formé d'un tampon en terre réfractaire, permet de surveiller l'opération en même temps qu'il facilite le chargement et le traitement de la matière, sans amener d'interruption dans le chauffage.

Cet appareil est employé par un très grand nombre de bijoutiers, à cause de la facilité qu'il donne de pouvoir fractionner les opérations sans perte de combustible. Le creuset, d'ailleurs, dure trois ou quatre fois autant avec le gaz qu'avec le charbon de bois.

L'industrie du platine utilise, pour la fusion de ce métal qui ne s'opère qu'au-delà de 1900°, le chalumeau à gaz d'éclairage et oxygène de MM. H. Sainte-Claire Deville et Debray. Chacun de ces deux gaz arrive séparément à l'extrémité du chalumeau et leur réunion n'a lieu qu'au-dessus du creuset de chaux qui renferme le

métal destiné à être fondu. Cet appareil, que son maniement un peu délicat rete nait dans les laboratoires, commence à se répandre chez certains industriels qui ont besoin de températures excessivement élevées.

Utilisation du gaz dans les grandes cristalleries et pour le travail du verre. — Les grandes cristalleries ont utilisé le gaz dans certaines opérations spéciales, et le chalumeau Schlœsing qui fonctionne avec du gaz d'éclairage et de l'air sous une faible pression leur a rendu de grands services.

Quant aux *souffleurs de verre*, aux *émailleurs*, aux *fabricants de perles*, *de tubes* pour baromètres, thermométres, densimètres de toute forme et de toute nature, ils ont tous substitué le gaz à l'alcool employé autrefois.

Chaudières a vapeur chauffées au gaz. — Deux modèles de chaudières à vapeur ont déjà été construits pour utiliser le pouvoir calorifique du gaz d'éclairage. L'un, dû à M. Thwaite, est une chaudière de trente chevaux ; elle se compose de plusieurs enveloppes concentriques. L'eau se trouve renfermée dans l'enveloppe intérieure et dans l'enveloppe extérieure, et les produits de la combustion du gaz, après avoir pénétré au centre de l'appareil, circulent dans toute l'étendue de la chaudière, dans une enveloppe intermédiaire entre les deux autres, pour ressortir dans une cheminée centrale.

Un autre modèle de chaudière à vapeur chauffée au gaz est dû à M. Wiesnegg ; c'est une chaudière de la force de deux chevaux. Elle est du type tubulaire, avec retour de flamme. Cette application du gaz semble devoir rester assez rare, car il est préférable, si on peut se servir du gaz, de l'employer directement dans un moteur spécial, sans l'intermédiaire d'un générateur à vapeur.

Four a patisserie chauffé au gaz. — Nous avons pu voir, à l'Exposition univerelle de 1889, un *four à patisserie* chauffé au gaz, dû à M. Van Leynseele, de Bruxelles. Cet appareil se compose (fig. 72) d'un massif

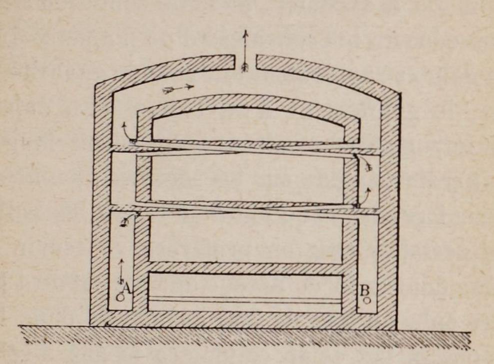


Fig. 72. — Four à pâtisserie.

en briques superposées, dont les soles respectives sont traversées par des tuyaux de fonte. Deux rampes de becs Bunsen, A et B, permettent de brûler le mélange d'air et de gaz, et les produits de la combustion circulent dans les tubes placés dans les soles des trois chambres.

Ce four consomme 2 mètres cubes à l'heure, la cuisson est parfaitement égale et continue, et les produits cuits au moyen de ce système sont tout à fait comparables à ceux des fours ordinaires. Ces appareils constituent certainement un premier pas vers l'application du chauffage au gaz des fours de boulanger.

Gonflement des ballons. — A côté de la puissance calorifique, on a utilisé également la faible densité du gaz d'éclairage par rapport à l'air, et on s'en est servi pour gonfler les ballons.

Le mètre cube d'air pèse 1 kil. 293, tandis que le poids d'un mètre cube de gaz n'est que de 500 grammes; on a donc à sa disposition une force ascensionnelle de 700 grammes environ par mètre cube. L'opération est devenue très facile à exécuter, la seule condition à remplir est de posséder un branchement d'un diamètre qui permette de débiter rapidement une grande quantité de gaz, sans cela, le gonflement d'un ballon d'un cube d'une certaine importance serait excessivement long. Nous ne nous arrêterons pas sur les services de toute nature que peuvent rendre et qu'ont déjà rendu les ballons, et si, dans certains cas, on préférera se servir du gaz hydrogène dont la force ascensionnelle est de 1 kil. 200 par mètre cube au lieu de 700 grammes, dans la plupart des circonstances on emploiera le gaz d'éclairage, qu'on a tout fabriqué à sa disposition.

Enfin, il n'est pas jusqu'aux propriétés toxiques du gaz qui n'aient été utilisées; les chiens errants qui sont recueillis dans les rues sont conduits à la fourrière, enfermés dans des cages et roulés dans une enceinte où le gaz se dégage, et où ils sont asphyxiés presque instantanément.

Emploi du gaz dans les laboratoires. — L'emploi de la chandelle Bunsen a partout succédé, dans les laboratoires, à l'usage de la lampe à alcool. Heureusement modifiée par M. Berthelot, la chandelle Bunsen a été courbée sous un angle de 100 à 110 degrés ; le mélange d'air et de gaz étant obligé de faire un tour sur lui-même dans la cambrure de la colonne, s'y effectue plus intimement, et on est rarement amené à faire usage du robinet à air adapté à celle-ci.

Il faut toujours avoir soin de purger le tube mélangeur

avant de s'en servir, afin d'éviter la formation de mélanges explosifs.

Une série de chandelles Bunsen placées à l'intérieur d'une enveloppe en fonte, constitue un fourneau qui rend de grands services dans les laboratoires pour obtenir des températures suffisamment élevées pour le plus grand nombre des opérations, et pour les évaporations rapides en particulier.

Quand il s'agit d'*évaporations lentes*, de *chauffage de ballons*, on se sert plus simplement d'un fourneau à enveloppe en tôle renfermant, à l'intérieur, une couronne à plusieurs replis concentriques munis de trous, par où se dégage le gaz brûlant à flamme blanche sans mélange préalable d'air. Des orifices placés en grand nombre à la périphérie de la partie inférieure de l'enveloppe, déterminent un appel d'air qui facilite le tirage.

Grille a analyses. — Le bec Bunsen est employé avec succès pour la *grille à analyses*, mais la flamme de ce bec étant quelquefois trop localisée pour les tubes en verre et en porcelaine, Wiesnegg a adapté à la partie supérieure du bec un couronnement en forme d'éventail ; ce petit appendice qui est percé à la partie supérieure d'une fente étroite longitudinale, a pour but de rendre à la flamme, en longueur, ce qu'on lui a enlevé en hauteur et en épaisseur. Ce genre de couronnement du bec Bunsen est particulièrement employé au chauffage et au cintrage des tubes en verre.

Une grille composée de brûleurs de même nature peut être employée au chauffage de petits moufles pour incinérations de sucres.

Fours a incinérations. — Le four à incinérations

de M. Dupré est chauffé par une rampe de becs Bunsen, dans le tube mélangeur desquels on peut modérer l'accès d'air de tous les brûleurs, au moyen d'une tige actionnant à la fois les coulisses de fermeture de tous les orifices d'entrée d'air. Les produits de la combustion sont dirigés d'abord sur le fond de l'appareil, et reviennent en avant où se trouve la cheminée d'évacuation, après avoir chauffé la partie supérieure du moufle. Au-dessus de cette paroi supérieure, on installe un bain de sable, et on utilise ainsi une grande partie de la chaleur produite. Cet appareil est employé en particulier au Laboratoire municipal de la ville de Paris.

Pour les laboratoires de raffineries, le four à incinération de M. Courtonne est chauffé par une rampe de douze brûleurs commandés séparément, quatre par quatre, par un robinet spécial. Le moufle de M. Courtonne porte dans sa hauteur une tablette mobile qui le partage en deux étages inégaux. L'étage supérieur est destiné à recevoir les matières susceptibles de se boursoufler au début de l'opération. L'appareil est muni, en outre, dans sa largeur, d'une cloison verticale qu'il est facile de déplacer suivant le nombre de capsules à chauffer. On peut, au moyen de ce moufle, obtenir une température de 900° sur le tiers, les deux tiers ou la totalité de sa longueur, et la dépense de gaz devient ainsi proportionnelle au nombre de capsules à chauffer.

Températures élevées ; Chalumeau Schlœsing. — Le gaz facilite beaucoup l'emploi du chalumeau ordinaire à air qui est l'instrument indispensable d'un grand nombre d'analyses par voie sèche.

M. Schlœsing, dans le but d'obtenir des températures très élevées qu'on ne pouvait pas atteindre par la com-

bustion du gaz d'éclairage seul, opérée par l'air à la pression ordinaire, emploie un appareil formé d'un tube recourbé, dans lequel l'air est insufflé au centre par une pompe et sous une pression de $0^m,3$ d'eau. Le gaz d'éclairage arrive (fig. 73) par deux conduites, dans une sorte de boîte qui enveloppe le tube à air, et le mélange s'opère dans un tube spécial aboutissant à l'intérieur d'un fourneau. Le creuset qui est renfermé dans ce

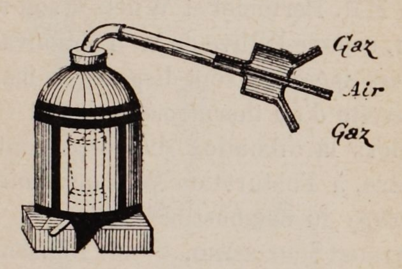


Fig. 73. — Chalumeau Schlœsing.

fourneau est porté ainsi à des températures suffisamment élevées pour fondre le fer. On a soin de régler l'arrivée de l'air, et on est guidé dans cette opération en introduisant dans l'appareil une simple plaque de cuivre qui se recouvre d'oxyde noir quand la flamme est oxydante, à la suite d'un excès d'air, et qui reprend sa teinte rougeâtre quand la flamme est redevenue réductrice.

On obtient des températures encore plus élevées en se servant du chalumeau à oxygène et à gaz d'éclairage de H. Sainte-Claire Deville et Debray, qui permet de fondre le platine dans un creuset de chaux.

Températures constantes. — Étuves a double paroi, a bain d'huile, a bain d'eau. — Le gaz d'éclai-

rage a rendu à la science des services précieux en facilitant, dans une mesure extrêmement précise, l'établissement d'étuves à températures constantes qui sont très utilisées à l'époque actuelle pour les études de physiologie animale, bouillons de culture, stérilisateurs, etc.[1]

Toutes ces étuves sont, autant que possible, rendues insensibles aux agents extérieurs, soit au moyen de la double paroi de Gay-Lussac, soit au moyen du bain d'huile de MM. Berthelot et Würtz[2], soit au moyen du bain d'eau, comme l'étuve de M. d'Arsonval.

Ces divers appareils sont disposés de manière à recevoir la cuvette d'un thermomètre à fort volume, et on emploie alors la dilatation du corps contenu dans ce thermomètre, à l'obturation plus ou moins grande du tube d'arrivée du combustible fluide.

RÉGULATEUR SCHLŒSING. — M. Bunsen fut l'un des inventeurs de ce genre d'instruments qui furent successivement perfectionnés. M. Schlœsing emploie un régulateur d'une manipulation un peu délicate, mais qui paraît d'une précision absolue quant aux résultats.

L'extrémité du réservoir en verre contenant le mercure (fig. 74) est fermée par un corps flexible qui est le plus ordinairement une membrane en caoutchouc ; la plus petite variation de température raccourcit ou allonge cette membrane qui, s'éloignant ou se rapprochant perpendiculairement au tube d'introduction du gaz, augmente ou diminue l'orifice d'admission. Pour que la membrane ne se coupe pas au contact du tube,

[1] Voy. les livres de Vinay, *Manuel d'asepsie, la stérilisation et la désinfection par la chaleur*, 1890 et Macé, *Traité de bactériologie*, 1891.

[2] Voy. Jungfleisch. *Manipulations de chimie.*

M. Schlœsing a suspendu entre ces deux pièces une palette parfaitement plane qui, obéissant aux mouvements du mercure, remplit en s'approchant ou s'éloignant du tube, l'office d'un robinet.

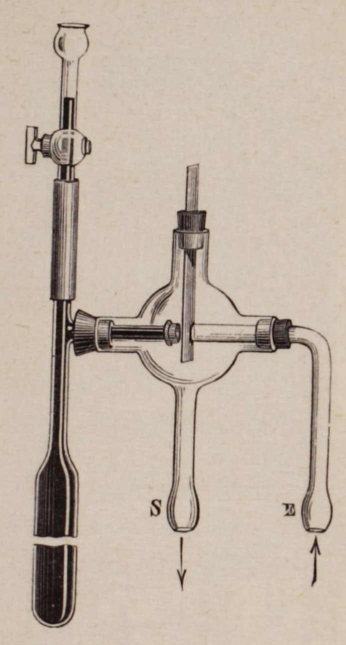


Fig. 74. — Régulateur Schlœsing.

Au lieu de se servir d'un thermomètre régulateur, M. d'Arsonval a utilisé les variations de volume de l'enveloppe liquide elle-même, dûes à l'action de la température et le réglage s'opère directement sur la conduite qui amène le gaz au brûleur. Ce nouveau type de régulateur a permis d'obtenir des appareils d'une extrême sensibilité.

Etuve a régulateur métallique. — On a constaté que toutes les étuves à bains liquides étaient sujettes à

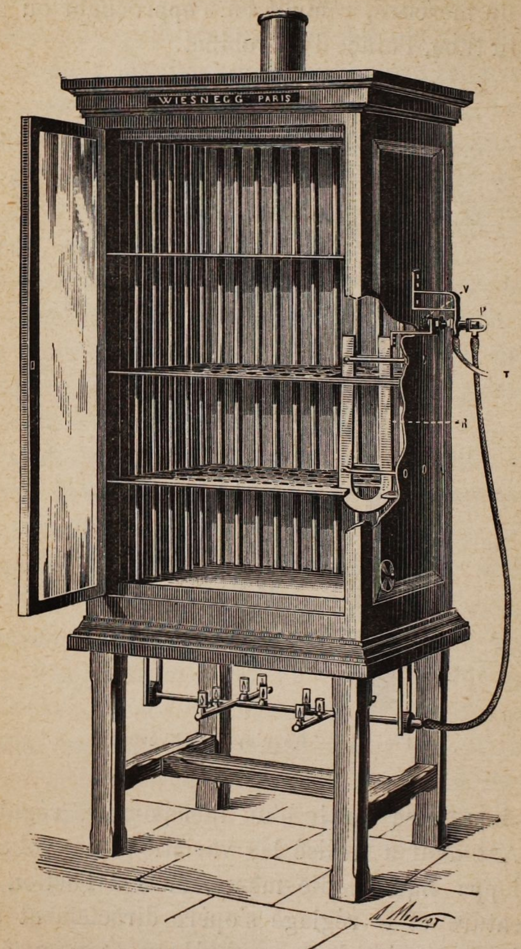


Fig. 75. — Étuve à régulateur métallique.

des fuites, à des oxydations qui amenaient la destruc-

tion plus ou moins prompte des enveloppes, et sur les conseils de M. le docteur Roux, M. Wiesnegg qui s'est créé une spécialité pour la construction des appareils de chauffage employés dans les laboratoires, a établi une étuve sans enveloppe, et dans laquelle le régulateur est une pièce métallique composée de deux métaux, dont la différence de dilatation agit au moyen d'une tige métallique, sur le robinet d'adduction du gaz.

Cette modification très heureuse a permis d'obtenir des appareils d'une sensibilité telle, que la variation de température d'une étuve, atteint à peine un demi degré pour une période de huit à dix jours.

L'étuve se compose (fig. 75) d'une vitrine en bois, munie à sa partie inférieure d'une sorte de coffre qui reçoit les produits de la combustion des brûleurs. Les gaz brûlés se répandent dans une série de tubes en cuivre répartis sur les trois faces pleines de l'étuve, et se réunissent dans un coffre supérieur, d'où ils sortent par un tuyau de dégagement.

A l'une des parois verticales de l'étuve est fixé un fer à cheval formé de lames métalliques, cuivre et zinc, l'extrémité de la dernière lame de zinc porte une tige horizontale qui sort de l'étuve, et agit directement sur le robinet d'adduction du gaz.

Cet appareil construit récemment et qui est d'une sensibilité merveilleuse, a été de suite adopté dans beaucoup de laboratoires, et une fois de plus, le gaz par sa nature et la commodité de son emploi, a permis de réaliser des progrès sensibles dans un certain genre d'études scientifiques.

CHAPITRE IX

MOTEURS A GAZ

Historique. — Comparaison entre la machine à vapeur et le moteur à gaz. — Classifications diverses des moteurs à gaz. — Consommation de gaz des moteurs de différents types. — Principales dispositions des moteurs à gaz. — Prises d'air et de gaz. — Allumage. — Refroidissement du cylindre. — Graissage. — Organes régulateurs de vitesse. — Moteur Bisschopp. — Moteurs Otto. — Nouveau moteur Lenoir. — Moteur Simplex. — Prix de revient du cheval-vapeur dans les moteurs à gaz. — Emploi pour la production de la force motrice d'autres gaz que le gaz de houille.

Historique. — Avant d'étudier les machines dans lesquelles la force motrice est produite par l'explosion d'un mélange détonant d'air et de gaz, nous croyons devoir esquisser quelques considérations historiques sur ces machines.

C'est à un Français, l'abbé Jean Hautefeuille, fils d'un boulanger d'Orléans que revient l'honneur d'avoir pour la première fois, dans la seconde moitié du XVIIe siècle décrit des moteurs à explosion. L'abbé Hautefeuille voulait employer à élever de l'eau, l'explosion de la poudre à canon.

En 1680, quelques années seulement après l'apparition des travaux de l'abbé Hautefeuille, Huyghens[1]

[1] Huyghens, Sur une nouvelle force mouvante par les moyens de la poudre à canon et de l'air.

décrivait une machine dans laquelle un piston se mouvait dans un cylindre vertical muni de deux tuyaux de dégagement en cuir formant soupape. Une petite boite pouvait être vissée contre le fond de ce cylindre.

« On y met, dit Huyghens, un peu de poudre à canon et on serre bien cette boîte par le moyen de sa vis. La poudre venant un instant après à s'allumer, remplit le cylindre de flammes et en chasse l'air par les tuyaux de cuir qui s'étendent, et sont aussitôt fermés par l'air du dehors. De sorte que le cylindre demeure vide d'air ou du moins pour la plus grande partie. Ensuite le piston est forcé par la pression atmosphérique de l'air qui pèse dessus à descendre. »

Ainsi à la fin du XVIIe siècle, Huyghens avait conçu le principe des machines dites atmosphériques.

En 1791, un ingénieur anglais, John Barber, remplaçait la poudre à canon par un mélange d'air et de gaz carburés qu'il enflammait à l'entrée d'un réservoir à explosion, et en 1794, Robert Street prenait un brevet relatif à « la production d'une force de vapeur par le moyen de liquide, d'air, de feu et de flamme pour mettre en mouvement les machines et les pompes. »

Il s'agissait d'une machine utilisant l'explosion d'un mélange d'air et de vapeurs de pétrole, ou de térébenthine.

L'homme de génie à qui nous devons la découverte du gaz d'éclairage prévoit, avec la largeur de conception qui le caractérise, l'application de son thermolampe, non seulement à la production de la chaleur et de la lumière, mais encore à celle de la force motrice. Dans un certificat d'addition pris en 1801, à son brevet du 6 Vendémiaire an VIII, il expose qu'on peut « recueil-

lir la force expansive du gaz, en modérer l'énergie et ne la déployer qu'à mesure et en proportion des besoins et de la solidité des machines qu'on pourra employer. »

Il décrit un moteur dans lequel l'air et le gaz sont introduits par deux pompes dans un cylindre derrière un piston, et l'inflammation peut être produite « par une machine électrique qui serait mue par celle du gaz, de manière à répéter les détonations dans les instants dont l'intermittence pourrait être réglée et déterminée. »

Ainsi, compression du mélange explosif et inflammation du mélange par l'étincelle électrique, dispositions réalisées dans les types les plus récents et les plus perfectionnés des moteurs à gaz, tout cela se trouve décrit en 1801, dans le brevet de Lebon.

« Constatons, dit M. Witz, à qui nous empruntons quelques-unes de ces considérations historiques, et enregistrons ce fait à l'honneur de la science et du génie français; nous pouvons revendiquer hautement pour Hautefeuille et Lebon, l'invention d'un moteur qui détrônera peut-être un jour le chef-d'œuvre de Watt.[1] »

Nous trouvons après Lebon une suite de brevets de machines à gaz tonnants, notamment un brevet pris par Hugon en 1858, sous le titre de « Machine utilisant la force explosible et le vide résultant de la combustion de l'hydrogène pur ou des différents gaz de l'éclairage » mais il faut atteindre l'année 1860 pour rencontrer une application vraiment industrielle du moteur à gaz. Cette application est due à M. Lenoir.

Nous ne décrirons pas en détail le moteur « à air

[1] A. Witz, *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*, Paris, 1889.

dilaté par la combustion du gaz » breveté le 24 janvier 1860. Le mélange d'air et de gaz formé dans le tiroir de distribution était enflammé dans le cylindre, au moyen d'une étincelle électrique. Le moteur était horizontal et à double effet. Le cylindre était muni d'une double enveloppe pour permettre la circulation d'un courant d'eau réfrigérant.

La marche de ce premier moteur Lenoir était régulière et silencieuse, mais la consommation du gaz dépassait 3 mètres cubes par cheval-heure (Tresca) et la dépense d'huile de graissage était considérable.

Malgré ces graves inconvénients, grâce à l'appui de M. Marinoni et surtout de la Compagnie Parisienne du Gaz, ces premiers moteurs Lenoir prirent rapidement un certain développement.

Ils ne tardèrent cependant pas à trouver dans M. Hugon un concurrent sérieux.

La machine de cet inventeur, dont le brevet est légèrement antérieur à celui de Lenoir, n'entra dans le domaine pratique que vers 1862. M. Hugon allumait le mélange explosif au moyen d'un petit brûleur à gaz. Il refroidissait le cylindre par une injection d'eau pulvérisée, qui se transformait en vapeur au moment de l'explosion. La consommation du gaz par cheval-heure était abaissée à 2 445 litres (Tresca).

Il faut arriver à l'année 1867, pour trouver un moteur à explosion économique, au point de vue du gaz consommé.

MM. Otto et Langen, de Deutz, près Cologne, attirérent vivement l'attention des visiteurs de notre Exposition Universelle, par leur machine verticale, d'un aspect assez étrange, sorte de marteau-pilon à marche

bruyante, qui ne demandait plus qu'une consommation de 900 litres par force de cheval et par heure. Cette machine était du type dit atmosphérique. Un piston se mouvait dans un cylindre vertical fort long, dont la tige était terminée par une crémaillère. Cette crémaillère engrenait avec une « boîte à frein » folle sur l'arbre de couche pendant l'ascension du piston, et solidaire de cet arbre pendant la descente (fig. 76).

Le mélange explosif, introduit à la partie inférieure du cylindre et enflammé par un jet de gaz, lançait le piston de bas en haut comme un véritable projectile. Cette course ascensionnelle ne s'arrêtait que sous l'influence de la détente des gaz brûlés soumis à un refroidissement.

Le vide produit déterminait alors la chute du piston qui, devenu solidaire de l'arbre de couche, lui communiquait une impulsion motrice.

MM. Otto et Langen obtinrent, avec cette remarquable machine, des résultats presque inespérés ; en dix ans ils construisirent plus de 5.000 moteurs. Malheureusement, le bruit excessif qui accompagne chaque explosion, bruit qui avait rendu peu pratiques les machines supérieures à deux chevaux, présente un inconvénient tel, que ce système est actuellement abandonné.

La plupart des machines en usage dans ces dernières années, comporte une disposition que Otto a, le premier, en 1877, fait entrer dans la pratique, mais qui est déjà indiquée dans le livre de M. Beau de Rochas, ingénieur du Chemin de Fer du Midi [1].

[1] Beau de Rochas, *Nouvelles recherches sur les conditions pratiques de plus grande utilisation de la chaleur et, en général, de la force motrice*, Paris, 1862. E. Lacroix.

Le piston laisse, à l'extrémité de sa course dans le cylindre, un espace vide. Le cylindre et le piston font à la

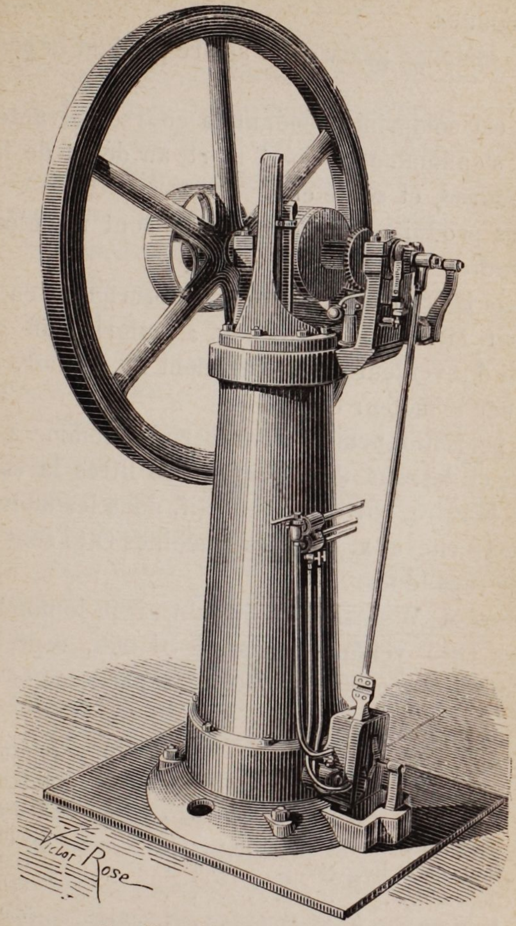


FIG. 76. — Moteur Otto et Langen.

fois office de pompe de compression et de moteur. Le cycle ne se ferme qu'après deux révolutions de l'arbre de

couche, soit quatre courses du piston, sur lesquelles une seule, la troisième, transmet une impulsion à l'arbre de couche.

1° Le mélange gazeux est aspiré pendant la première course.

2° Il est comprimé pendant la course suivante.

3° Il s'enflamme au point mort, au début de la troisième course, et se détend.

4° Les produits de la combustion sont refoulés hors du cylindre.

Depuis 1878, l'antériorité de la description en cycle, faite par M. Beau de Rochas, a autorisé un certain nombre d'inventeurs, et notamment M. Lenoir, à perfectionner le moteur Otto.

Ces perfectionnements ont permis, comme nous le verrons ci-dessous, d'abaisser à 600 litres la consommation horaire, par cheval effectif, dans les moteurs de plus de 18 chevaux. Mais les machines Otto sont encore les plus répandues.

D'après M. Wehrlin, au 30 juin 1889, le nombre des moteurs Otto vendus dépassait 31.000, représentant 110.000 chevaux-vapeur. Ils se répartissaient comme suit :

Angleterre.	12.800
Allemagne.	6.800
France.	3.450
Amérique.	2.900
Hollande et Belgique.	800
Italie.	900
Autriche.	750
Russie.	600
Espagne	350
Suisse.	300
Danemark.	200
Autres pays.	1.100

COMPARAISON ENTRE LA MACHINE A VAPEUR ET LE MOTEUR A GAZ. — Toutes les machines thermiques reposent sur ce principe, que la chaleur, en dilatant les corps, produit un travail qui peut être recueilli. Le corps dilaté est un fluide dont un combustible élève la température. Le fluide acquiert une certaine tension qui s'exerce sur un piston mobile et le pousse en avant. En soustrayant au fluide une certaine quantité de chaleur, au moyen d'un réfrigérant, on diminue la tension du fluide de manière à faire reculer le piston et à le ramener à sa position primitive.

Pour produire une évolution complète, il faut donc échauffer le fluide au contact d'une source de chaleur qui le porte à la température T, et le refroidir au contact d'un réfrigérant qui le ramène à la température t. Nous supposons T et t exprimés en degrés de température absolue, c'est-à-dire en degrés centigrades augmentés de 273 degrés[1].

Deux grandes lois régissent la transformation de la chaleur en travail mécanique.

1re Loi. — Le rapport entre la quantité de chaleur consommée et le travail mécanique produit est constant. Une calorie disparue correspond toujours à la production de 425 kilogrammètres.

2e Loi. — Le rendement des machines thermiques, c'est-à-dire le rapport entre la quantité de chaleur transformée en travail mécanique et la quantité de chaleur produite, dépend de la série de transformations subies par le fluide, dans son passage de la température T à la température t, et à son retour à la température T.

[1] On sait en effet, d'après la théorie mécanique de la chaleur, que le zéro absolu correspond à — 273° centigrades.

Cette série de transformations, qui se représente graphiquement par une courbe dont les ordonnées sont proportionnelles aux pressions et les abscisses proportionnelles aux volumes, s'appelle cycle. Le rendement varie avec la forme du cycle. Carnot a démontré que le maximum de rendement d'une machine thermique, fonctionnant sous une chute de température T—*t*, était égal à

$$\frac{T-t}{T}$$

On voit que le *rendement maximum* dont une machine est susceptible, rendement maximum qu'on désigne sous le nom de *coefficient économique*, augmente avec T, c'est-à-dire avec la température initiale à laquelle est soumis le fluide.

L'avenir de la machine à vapeur, au point de vue de l'élévation de son coefficient économique, semble limité par ce fait, qu'avec les métaux connus, à cause de la rapidité avec laquelle croît la tension de vapeur d'eau saturée quand on en élève la température, il n'est pas habituel d'augmenter au delà de 180° centigrades la température de la vapeur d'eau dans la chaudière.

En admettant 55° pour la température du condenseur, on voit que le moteur à vapeur fonctionne avec une chute de température de 125° qui correspond, d'après le principe de Carnot, à un rendement économique de

$$\frac{125}{180+273}=0,27$$

La machine à vapeur n'utilise pas l'énorme chute de température qui existe entre le foyer et la chaudière, chute qui se chiffre par plus de 1000 à 1200° et qui absorbe 60 pour 100 environ de la chaleur totale dégagée par le combustible.

Si l'on suppose que l'on brûle, dans une chaudière à vapeur, une quantité de combustible pouvant produire 100 calories, on voit que ces 100 calories, au point de vue de leur transformation finale en travail, doivent être affectées.

1° D'un premier coefficient pour le passage de la chaleur du foyer dans la chaudière;

2° D'un deuxième coefficient, le coefficient économique, calculé d'après le principe de Carnot;

3° D'un troisième coefficient qui serait égal à l'unité si la vapeur décrivait un cycle parfait, ce qui est impossible dans la pratique;

4° D'un quatrième coefficient, dit rendement organique, relatif aux frottements et aux résistances passives. Tout le travail développé n'est pas, en effet, utilisable sur l'arbre de couche.

Le tableau suivant, dressé par M. Hirsch, indique avec assez d'approximation le sort des 100 calories produites dans le foyer.

	COEFFICIENTS PARTIELS	CALORIES RESTANTE	CALORIES PERDUES
Chaleur du combustible.	1	100	»
1° Passage dans la chaudière. .	0,60	60	40
2° Coefficient économique. . . .	0,27	16,2	43,80
3° Imperfection du cycle. . . .	0,60	9,72	6,48
4° Rendement organique.. . . .	0,77	7,50	2,22
5° Rendement en travail. . . .	0,075	7,50	92,50

Le travail utilisé dans une machine à vapeur ne correspond donc qu'à 7,5 pour 100 de la chaleur développée par le combustible.

Nous verrons plus loin, dans le compte rendu d'ex-

périences faites par M. Hirsch, sur un nouveau moteur Lenoir de 16 chevaux, et par M. Witz, sur un moteur Simplex de 8 chevaux, que la proportion de chaleur utilisée s'élève à 20 pour 100.

Il est facile de se rendre compte des causes de la supériorité, au point de vue thermique, des machines à gaz sur les machines à vapeur.

Dans les machines à gaz, le fluide moteur reçoit directement l'action de la chaleur. Le premier coefficient de 0,60, du tableau de M. Hirsch, se trouve supprimé.

En second lieu, le fluide agit à la température de combustion. On peut élever cette température en comprimant le mélange gazeux[1]. La température du fluide, à la fin de la détente, est plus forte, il est vrai, que dans les moteurs à vapeur (dans les meilleures machines à gaz, la température de l'échappement est de 350° à 400° centigrades). Les gaz brûlés entraînent plus de 15 pour 100 de la chaleur dégagée par le combustible, mais la chute de température est plus considérable et, par suite, le coefficient économique, calculé d'après le principe de Carnot, peut atteindre le double de celui qui a été indiqué pour la vapeur.

Malheureusement, le coefficient relatif à l'imperfection du cycle et le rendement organique sont inférieurs. Le cycle réel s'écarte beaucoup du cycle parfait pour deux raisons :

1° L'explosion est brutale, il est impossible de modérer, comme pour la vapeur, la marche des transformations du fluide moteur. L'imperfection du cycle des mo-

[1] L'élévation de la température initiale n'est limitée que par la difficulté pratique, de trouver un lubrifiant capable de résister à cette température.

teurs à explosion se reconnait à la forme des diagrammes relevés à l'indicateur.

2° La combustion du gaz échauffe très vite le cylindre. Pour éviter les grippements, on est obligé non seulement de le graisser abondamment, mais encore de le refroidir généralement avec un courant d'eau. Ce courant d'eau entraîne, dans les meilleurs types, 40 pour 100 de la chaleur totale dégagée par la combustion du gaz.

L'infériorité du rendement organique provient de ce que, à puissance égale, le cylindre d'une machine à gaz est beaucoup plus volumineux que celui d'une machine à vapeur. Les moteurs à gaz sont généralement à simple effet. Ils sont donc, au point de vue des résistances passives, inférieurs aux moteurs à vapeur.

A toutes ces causes de l'abaissement du rendement thermique de la machine à gaz, il faut ajouter l'imperfection de la combustion qui a, en général, une faible importance. De plus, lorsque l'allumage s'effectue avec du gaz, la dépense nécessaire à cet allumage, rapportée au cheval développé, peut être sensible pour les petites forces.

Le rendement thermique n'est pas la seule considération qui permette d'apprécier la valeur d'un moteur. Une machine économique peut présenter des inconvénients pratiques qui la rendent impropres à certains usages.

On a reproché aux machines à gaz d'avoir une marche moins régulière que les machines à vapeur. Cette régularité de marche a souvent, notamment dans les applications électriques, une grande importance. Cependant, dans ces dernières années, on a suffisamment perfectionné la construction des moteurs à gaz pour qu'ils

puissent, au point de vue de la régularité, soutenir la comparaison avec la vapeur. Les machines à plusieurs cylindres ont une vitesse suffisamment constante pour que, lorsqu'on leur fait commander des dynamos, on ne puisse percevoir d'oscillations dans l'éclat des lampes à incandescence.

Le Syndicat pour l'éclairage électrique de l'Exposition universelle de 1889 a fait installer environ 350 chevaux en moteurs Otto et en nouveaux moteurs Lenoir. Ces moteurs ont fourni, pendant la durée de l'Exposition, 219.845 chevaux-heure, sans qu'on ait eu à leur reprocher la moindre irrégularité dans leur fonctionnement.

Au point de vue de l'*espace occupé*, les machines à gaz peuvent lutter avantageusement contre les machines à vapeur, qui demandent une chaudière assez encombrante. Cette considération de l'emplacement a une importance assez considérable, surtout dans les grandes villes, où l'on dispose toujours de locaux insuffisants. Elle conduit, dans certain cas, à employer des moteurs à gaz verticaux, moins volumineux que les moteurs horizontaux.

Les machines à gaz sont supérieures, sur plusieurs points, aux machines à vapeur.

Elles peuvent développer leur force instantanément. Elles ne nécessitent pas, comme les chaudières, une mise en pression plus ou moins longue. Toujours prêtes à fonctionner, elles ne consomment que quand elles travaillent.

Elles sont moins dangereuses. Les chaudières sont des réservoirs de force dynamique qui peuvent compromettre la sécurité publique, surtout quand on les répand,

comme on l'a fait récemment, au milieu d'habitations ou dans des édifices très fréquentés. L'établissement, régulièrement fait, d'un moteur à gaz ne saurait inquiéter le voisinage.

Enfin, et cette considération a une certaine importance dans les grandes villes, les moteurs à gaz ne déversent pas dans l'atmosphère ces désagréables torrents de fumée noire qui détériorent nos monuments et qui, depuis quelques années, se multiplient fort rapidement dans les quartiers les plus riches de Paris[1].

Classifications diverses des moteurs a gaz. — On peut, au point de vue de l'aspect extérieur, diviser les moteurs à gaz en deux grandes catégories : les moteurs verticaux et les moteurs horizontaux.

1° Dans les moteurs verticaux, le cylindre est placé généralement à la partie inférieure. Il s'élargit par le bas, de façon à s'appuyer sur le sol, et il porte à sa partie supérieure deux bras qui soutiennent l'arbre moteur.

Le piston sert généralement de glissière ; une bielle, articulée sur lui, transmet le mouvement à l'arbre de couche.

Les organes de distribution et d'allumage sont ordinairement situés au bas du cylindre.

1 On peut supprimer presque complètement cet inconvénient de la fumée, en substituant le coke à la houille, pour le chauffage des générateurs.

On est beaucoup trop tolérant pour la fumée à Paris. On est souvent armé contre elle par des stipulations expresses. Nous citerons par exemple le traité passé entre l'Etat et la Société électrique qui éclaire l'Opéra. En cas de fumivorité non parfaite des chaudières, la Société peut, sous peine de déchéance, être obligée à remplacer ses machines à vapeur par des moteurs à gaz.

Dans quelques cas assez rares, comme dans le moteur Bénier, le cylindre est à la partie supérieure du moteur.

« En général, dit M. Chauveau [1], les moteurs verticaux sont plus compacts, moins lourds que les moteurs horizontaux. La surveillance et la conduite en sont très faciles et le graissage peu dispendieux par suite de la position verticale du cylindre. Les moteurs verticaux sont surtout destinés aux forces inférieures à 4 chevaux. Ils se construisent cependant couramment jusqu'à 10 chevaux. Lorsqu'ils dépassent 10 chevaux de force, on les construit à deux cylindres. Pour les forces dépassant 30 chevaux, les moteurs verticaux peuvent comporter quatre cylindres. »

2° Les moteurs horizontaux sont les plus répandus. On les construit à un, deux ou quatre cylindres, placés en porte-à-faux sur un bâti en fonte, portant tous les organes du moteur. Rarement ce bâti sert à fixer la machine sur le sol. Il faut avoir recours à un socle soit en fonte, soit en pierre.

Le piston ne sert pas généralement de glissière, cette disposition offrant de grandes chances de fuite, si le piston n'est pas suffisamment guidé. Les organes de distribution et d'allumage sont en général placés à l'arrière du cylindre.

« Les moteurs horizontaux, dit M. Chauveau, sont en général plus lourds, plus volumineux, plus coûteux que les moteurs verticaux, principalement en raison de la nécessité d'un socle, mais la stabilité est plus grande. »

Les machines à gaz peuvent également se diviser en

[1] Chauveau, *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*, Baudry et Cie, 1891.

deux classes : les moteurs à *double effet*, c'est-à-dire ceux dans lesquels l'explosion se produit alternativement sur les deux faces du piston, et les moteurs à *simple effet* dans lesquels le mélange explosif n'agit que d'un côté du piston.

Les premières de ces machines ont une marche plus douce, plus régulière, plus silencieuse. Cependant, elles sont généralement abandonnées, parce qu'elles sont beaucoup moins économiques. Les parois du cylindre sont portées à des températures tellement élevées, qu'il faut des torrents d'eau pour les refroidir.

Le nombre de calories entraînées pas cette eau a pour conséquence une augmentation de la consommation du gaz, par cheval effectif.

La température exagérée des parois intérieures nécessite une grande dépense d'huile pour le graissage. De plus, dans les machines à double effet, les tiges du piston doivent passer au travers de garnitures que l'on est obligé de serrer pour qu'elles soient étanches. Ces serrages nécessitent des soins et augmentent les résistances passives.

Les machines à simple effet sont évidemment plus volumineuses, leur marche est moins régulière ; cependant elles sont presque exclusivement employées. Les parois du cylindre qui ne sont en contact que par une extrémité avec les gaz, au moment de l'explosion, sont portées à une température moins élevée. Il en résulte une économie d'eau, de gaz et d'huile.

La dépense horaire, par cheval effectif, a pu être abaissée dans les machines à simple effet supérieures à dix chevaux à :

600 litres pour le gaz
20 litres pour l'eau.
5 grammes pour l'huile.

Pour corriger l'irrégularité de vitesse des machines à simple effet, irrégularité qui les rendrait inapplicables aux usages électriques, on a dû augmenter la masse du volant ou accoupler plusieurs cylindres moteurs, de telle sorte que, à un moment donné, le fluide soit à des périodes différentes du cycle dans chacun des cylindres.

On n'emploie généralement quatre cylindres que lorsque la puissance dépasse 50 chevaux. De 4 à 50 chevaux, on ne construit que des machines à un ou deux cylindres.

M. Witz a proposé une classification plus rationnelle des moteurs à gaz, basée sur la nature de leur cycle. Cette classification comporte quatre types :

Premier type. — Moteurs à explosion sans compression.

Deuxième type. — Moteurs à explosion avec compression.

Troisième type. — Moteurs à combustion avec compression.

Quatrième type. — Moteurs atmosphériques et mixtes.

Les moteurs du premier type comprennent notamment le premier moteur Lenoir que nous avons décrit dans l'historique.

Parmi les moteurs du second type, nous citerons les moteurs Otto et Lenoir nouveau modèle, dont le cycle est celui qui a été défini par M. Beau de Rochas. La compression peut se faire dans le cylindre moteur ou dans un cylindre auxiliaire.

Au lieu de faire détoner le mélange explosif à volume constant, on peut chercher à ralentir la combus-

tion de manière à l'effectuer sensiblement à pression constante. On réalise cette disposition dans les machines du troisième type. Les autres transformations du fluide moteur sont celles du type précédent.

Le quatrième type comprend le moteur Otto et Langen, que nous avons décrit dans l'historique, dont le piston transmet une impulsion à l'arbre de couche seulement dans sa course descendante. Ce modèle de moteur est actuellement abandonné à cause de sa marche bruyante, mais on a créé un grand nombre de machines d'un type mixte, comme la machine de Bischopp. L'explosion agit comme force motrice pendant la montée du piston, et la pression atmosphérique pendant la descente.

« Le tableau suivant, dit M. Witz[1], montre bien la suite des opérations qui se succèdent derrière le piston des divers types. Il est divisé par colonnes parallèles, de manière à présenter synoptiquement, aux yeux du lecteur, les transformations correspondantes subies par les gaz avant et après leur combustion.

1 Aimé Witz, *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*, Paris, 1889, E. Bernard et Cie.

1er TYPE	2e TYPE	3e TYPE	4e TYPE
1° Aspiration du mélange sous la pression atmosphérique.	1° Aspiration du mélange sous la pression atmosphérique.	1° Aspiration du mélange sous la pression atmosphérique.	1° Aspiration du mélange sous la pression atmosphérique.
	2° Compression du mélange.	2° Compression du mélange.	
2° Explosion à volume constant.	3° Explosion à volume constant.	3° Combustion à press. constante.	2° Explosion à volume constant en course libre.
3° Détente.	4° Détente.	4° Détente.	3° Détente.
			4° Refoulement du piston par l'atmosph. en course motrice.
4° Refoulement et échappement des produits de la combustion.	5° Refoulement et échappement des produits de la combustion.	5° Refoulement et échappement des produits de la combustion.	5° Refoulement et échappement des produits de la combustion.

Nous donnons également, d'après MM. Witz et Chauveau, une nomenclature par types des principales machines à gaz, avec l'indication de leur date.

Premier type. — Moteurs à explosion sans compression.

NOMS	DATES	NOMS	DATES
Lenoir	1860	Parker	1882
Kinder et Kinsey	1861	Hutchinson	1882
Hugon	1862	Forest	1883
Ravel (ancien modèle)	1878	Baker	1883
Turner	1879	Economic Motor	1883
Ord	1881	Crown	1884
Bénier	1881		

Deuxième type. — Moteurs à explosion avec compression.

NOMS	DATES	NOMS	DATES
Millon	1861	Maxim	1883
Otto	1878	Martini	1883
Koerting-Lieckfeld	1879	Nouveau Lenoir	1883
Wittig et Hees	1879	Seraine	1884
Dugald Clerk	1879	Andrew Stokport	1884
Linford	1879	Warchalowski	1884
Otto Crossley	1880	Benz	1884
Rider	1880	Simplex	1885
Leo Funck	1880	Rollason	1886
Sir William Siemens	1881	Nouveau Dugald Clerk	1887
Otto Schleicher Schumm	1881	Nouveau Ravel	1888
Worsam	1882	Atkinson	1888
Nouveau Koerting Lieckfeld	1883	Charon	1888
De Kabath	1883	Daimler	1889

Troisième type. — Moteurs à combustion avec compression.

NOMS	DATES	NOMS	DATES
Brayton Ready Motor	1872	Poulis	1881
Hock	1872	Livesey	1883
Simon et fils	1878	Crowe	1883

Quatrième type. — Moteurs atmosphériques et mixtes.

NOMS	DATES	NOMS	DATES
Langen et Otto	1867	Simbard	1879
De Bisschop	1871	Rabson	1881
Gilles	1874	François	1882
Hallewell	1875	Schweizer	1883

Consommation de gaz théorique et pratique des moteurs de différents types. — Le gaz demande, pour brûler complètement, une quantité d'air légèrement inférieure à six fois son volume. Les limites de

combustibilité des mélanges d'air et de gaz ont été étudiées par MM. Malard et Le Chatelier.

Lorsque le mélange gazeux est à la pression atmosphérique, l'inflammabilité commence pour un mélange de 1 volume de gaz et 3,7 volumes d'air, l'effet maximum se produit avec 6 volumes d'air ; lorsque la proportion d'air atteint 13 volumes, l'étincelle électrique ne peut plus allumer le mélange, il faut employer un dard de flamme, enfin lorsque la quantité d'air atteint 16 volumes, le mélange n'est plus explosif.

Le mélange tonnant des moteurs à gaz contient généralement de 6 à 10 volumes d'air pour 1 volume de gaz.

Certains inventeurs, notamment Otto, ont cherché à produire des mélanges non homogènes et à enflammer au point où le mélange est le plus riche, de manière à rendre l'explosion plus longue. L'effet de cette disposition est contesté.

La combustibilité augmente avec la pression à laquelle est soumis le mélange gazeux. Le fait s'explique facilement par le rapprochement des molécules combustibles. La compression préalable diminue donc le nombre des ratés d'allumage ; elle rend, par suite, plus sûre et plus économique la marche de la machine. Cette compression a un autre avantage. Elle augmente la valeur de T, température à la fin de l'explosion ; à la chaleur de combustion s'ajoute, en effet, la valeur de la quantité de chaleur emmagasinée par la compression préalable.

L'augmentation de T, pour une compression à trois atmosphères d'un mélange gazeux soumis à une température initiale de 15°, atteint 120° centigrades. La compression augmente donc la chute de température sous l'influence de laquelle fonctionne un moteur à gaz,

et par suite le rendement économique calculé d'après le principe de Carnot.

Nous n'entrerons pas dans le détail des éléments que permettent d'évaluer la température T suivant la composition du mélange et sa compression initiale, et de déterminer le coefficient économique relatif aux quatre types, de machines à gaz.

La consommation théorique de gaz pour ces quatre types est le quotient de 120 litres par le coefficient économique. Il faut, en effet, brûler 120 litres de gaz pour obtenir 635 calories équivalent calorifique du travail d'un cheval-heure.

Voici des chiffres indiqués par M. Witz.

TYPES des machines	PRESSION du mélange	COEFFICIENT économique	CONSOMMATION de gaz théorique par cheval-heure	CONSOMMATION réelle moyenne par cheval
			litres	
I	0	0,23	522	2000
II	3	0,38	316	900
III	5	0,31	387	1000
IV	0	0,50	240	800
			moyenne 285	
	0	0,53	333	

L'écart qui existe entre les chiffres des deux dernières colonnes, indique l'importance des perfectionnements que l'on peut espérer voir réaliser un jour, dans la voie de la diminution de consommation de gaz par cheval effectif.

Principales dispositions des moteurs à gaz. — Prises d'air ou de gaz. — L'air nécessaire à la formation du mélange explosif doit être exempt de poussières.

On alimente généralement de gaz les moteurs, au moyen d'un branchement et d'un compteur distincts de ceux qui commandent l'éclairage.

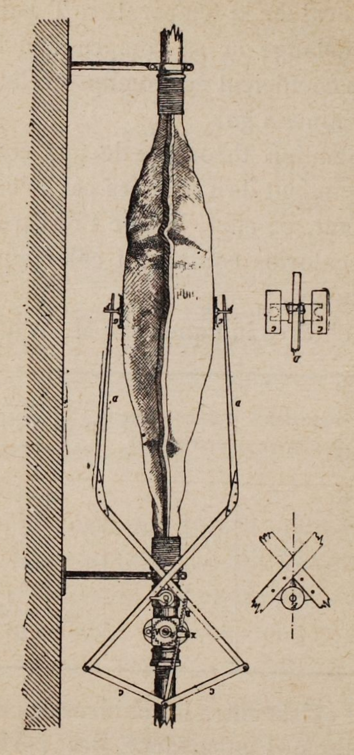


Fig. 77. — Poche à gaz Schvabetz [1].

Cette règle n'a rien d'absolu, surtout lorsqu'il s'agit de petites forces

Il faut éviter que les aspirations un peu brusques du moteur ne produisent dans les conduites souterraines

1 Cet appareil est construit en France par MM. Bizot et Akar.

des oscillations de pression, qui troublent l'éclairage des voisins [1].

A cet effet, on intercale généralement dans la plomberie qui amène le gaz au moteur, une poche en caoutchouc.

Pour que cette poche soit efficace, il faut que les parois restent flasques, et que, par suite, elles ne soient jamais complètement gonflées. Il faut donc, de temps en temps, régler à la main le robinet qui commande cette poche, ou mieux encore, comme l'a fait Schrabetz (fig. 77), étrangler automatiquement l'arrivée du gaz au moyen d'un papillon actionné par les parois de la poche, qui empêchent son gonflement complet.

Allumage. — La combustion du mélange gazeux étant fort rapide, la flamme s'éteint après chaque explosion. Il faut opérer un allumage à chaque cycle d'opération. Cet allumage se fait de plusieurs façons :

1° On peut, dans les moteurs sans compression, allumer directement avec un petit jet de flamme qui communique avec le mélange détonant par une ouverture munie d'une soupape. Cette soupape se ferme lorsque la pression intérieure devient prépondérante. L'application de ce système nécessite des dispositifs assez compliqués, lorsque le mélange gazeux est soumis à une compression préalable ;

1 L'article 18 de l'*arrêté du préfet de la Seine*, en date du 18 février 1862, est ainsi conçu : « Toute personne voulant employer du gaz pour mettre des machines en mouvement, ou voulant en faire usage d'une manière intermittente, devra isoler ses prises de gaz de la canalisation de la rue par un régulateur gazométrique, dont les dimensions seront déterminées par l'Administration ». L'Administration préfectorale n'a jamais pris aucune décision au sujet des dimensions à donner à ces régulateurs.

2° On peut allumer le mélange explosif au moyen d'un jet de gaz enfermé dans une capacité mobile qui s'allume au moyen d'une flamme fixe, et qui est mis, au moment voulu, en communication avec le mélange explosif ;

3° On peut employer une étincelle électrique produite, soit par une bobine commandée par une pile, soit par un appareil d'induction analogue au coup de poing de Bréguet ;

4° On peut employer un corps solide, par exemple un tube de fonte porté à l'incandescence par du gaz. Ce tube incandescent est mis, au moment voulu, en contact avec le mélange explosif.

L'air et le gaz sont introduits dans le cylindre moteur soit par un tiroir, soit par des ouvertures que peuvent obturer des soupapes.

Refroidissement du cylindre. — Lorsque la force du moteur est inférieure à un cheval, le refroidissement du cylindre s'opère généralement par des ailettes venues de fonte avec le cylindre. On n'emploie pas d'eau.

Pour les moteurs de force supérieure, on emploie un courant d'eau, dont on règle le débit, de façon à ce que la température de sortie soit d'environ 75° centigrades.

Lorsque la force de la machine ne dépasse pas 6 à 8 chevaux, on peut employer un réservoir d'eau placé le plus près possible du moteur. Un tuyau partant de la partie supérieure du réservoir amène l'eau sous le cylindre. Cette eau s'échauffe dans la double enveloppe et revient par un tuyau qui débouche dans le haut du réservoir. Des robinets permettent d'étrangler le passage de l'eau et d'en modérer la vitesse.

Pour des forces supérieures à 8 chevaux, il faut employer un courant d'eau dont on règle le débit horaire à

environ 40 litres par cheval-heure, lorsque la consommation du gaz est voisine de 1 mètre cube.

Quand cette consommation est réduite à 6 à 700 litres, on peut abaisser à 20 ou 25 litres par cheval la dépense d'eau.

Graissage. — Les tiroirs des machines à gaz, qui sont soumis à de fortes pressions et à des températures élevées, nécessitent, pour leur lubrification, des huiles animales ou minérales de premier choix.

Pour le graissage du cylindre, on peut employer des huiles minérales neutres ordinaires.

Les graisseurs doivent être disposés de telle sorte que les gaz de l'explosion n'y pénètrent pas. Autrement ils décomposeraient l'huile.

Organes régulateurs de vitesse. — Nous avons vu que, surtout dans les machines à simple effet, le fluide ne travaille que pendant une fort courte période du cycle. On est, par suite, conduit à donner au volant de plus grandes dimensions que dans les machines à vapeur.

Pour corriger les effets de la variation du travail pris sur l'arbre de couche, on fait usage de régulateurs à force centrifuge, qui agissent de deux façons : ou bien ils étranglent l'admission du gaz, ou bien ils la suppriment complètemen.

La régulation par étranglement semble la meilleure, parce qu'elle tend à égaler à chaque instant le travail moteur à l'effort résistant, cependant, elle est fort critiquable. Elle peut, en effet, conduire à la production de mélanges trop pauvres, non explosifs, qui entraîneraient une dépense inutile de gaz.

En pratique, il vaut mieux employer des régulateurs

qui suppriment complétement l'admission du gaz, lorsque la vitesse dépasse une certaine limite.

On a, par exemple, dans le moteur Simplex, remplacé le régulateur à boules par un appareil pendulaire, dont on peut faire varier, au moyen d'une masse, la durée d'oscillation. Ce pendule est muni d'un couteau qui détermine à chaque oscillation l'ouverture de la soupape d'admission du gaz. Quand la vitesse de la machine dépasse une vitesse correspondante à la durée d'oscillation du pendule, le couteau n'appuie plus sur la tige qui commande la soupape et l'admission du gaz se trouve supprimée.

Dans certains moteurs, comme dans celui de Koerting, l'admission du gaz s'effectue au moyen de soupapes qui s'ouvrent sous l'action du vide produit par l'avancement du piston dans le cylindre. Dans ces moteurs, l'appareil régulateur peut agir sur la soupape d'échappement. Quand la vitesse devient trop considérable, cette soupape est maintenue ouverte, et le vide ne se produit plus.

Le cadre de cet ouvrage ne nous permet pas de donner la description de tous les moteurs à gaz employés. Nous renvoyons les lecteurs désireux de les étudier aux traités spéciaux de M. Richard,[1] de M. Aimé Witz et de M. Chauveau. Nous nous bornerons à un examen succinct des machines les plus usitées.

Moteur Bisschop. — Ce moteur est très répandu pour les forces inférieures à un cheval. Il est vertical et ne nécessite pas d'eau. L'inflammation (fig. 78) s'obtient au moyen d'un petit jet de flamme dirigé sur un clapet métallique, qui ferme un orifice pratiqué sur le

1 Gustave Richard, *Les Moteurs à gaz*, Paris, Vve Ch. Dunod, 1885.

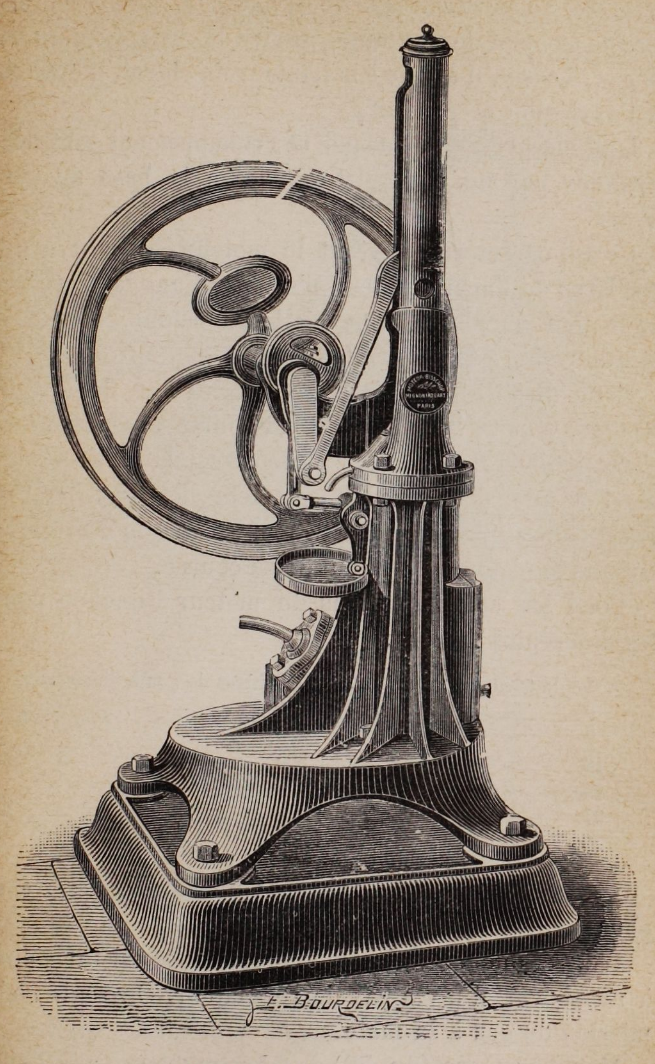


FIG. 78. — Moteur Bisschop.

cylindre, au tiers environ de sa hauteur. Le piston, au commencement de sa course, aspire le mélange d'air et de gaz. Lorsqu'il arrive à la hauteur du clapet, il l'ouvre et l'explosion se produit.

L'admission d'air et de gaz et l'échappement sont déterminés par un petit piston placé à la base du cylindre.

Ce qui caractérise surtout le moteur Bisschop, c'est que l'axe de l'arbre moteur n'est pas dans la direction de la tige du piston. Une bielle en retour relie cette tige de piston à la manivelle.

Cette disposition, jointe à l'excentricité de l'arbre moteur, a pour but de rendre la course ascendante du piston moins rapide que la course descendante. On arrive ainsi à une détente plus complète des gaz brûlés, qui sont presque ramenés à la pression atmosphérique lorsque le piston est en haut de sa course.

Voici les consommations du moteur Bisschop pour les différentes forces :

3	kilogrammètres. . . .	250	litres de gaz à l'heure.
6	—	250	—
9	—	450	—
12	—	500	—
25	—	800	—
37	—	1.100	—
75	—	1.850	—

M. Bénier construit également un moteur assez employé dans la petite industrie.

Dans ces moteurs, lorsque la puissance est inférieure à un cheval, il n'y a pas de régulateur. On règle l'admission du gaz à la main.

Moteurs Otto (fig. 79). — Les moteurs Otto, horizontaux, sont actuellement les plus répandus. Ils se

composent d'un cylindre à double enveloppe, de manière à permettre le refroidissement par un courant d'eau.

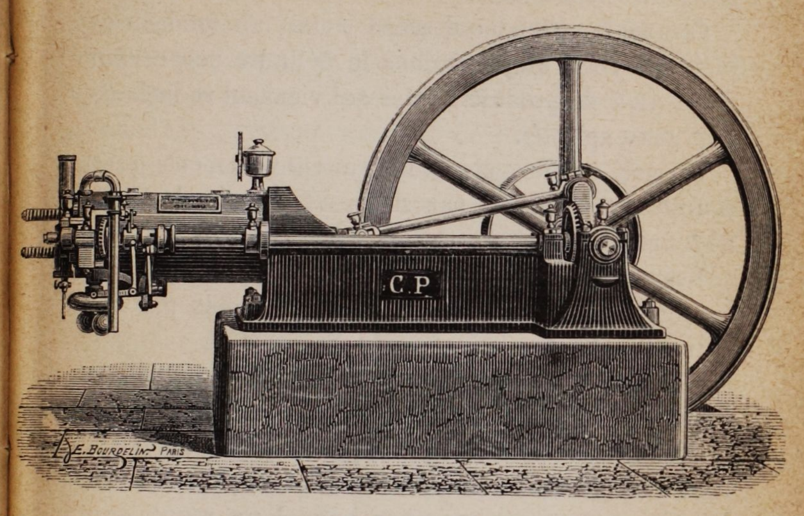


Fig. 79. — Moteur Otto.

Dans ce cylindre se meut un piston dont la course est limitée à environ la moitié de la longueur du cylindre.

Le cycle de cette machine est celui décrit par M. Beau de Rochas.

Dans la première course du piston, il y a aspiration du mélange d'air et de gaz.

Pendant la course en arrière suivante, le mélange est comprimé dans le fond du cylindre. Au début de la troisième course, le mélange s'enflamme, l'explosion se produit; la détente s'opère pendant cette troisième course et le piston transmet une impulsion motrice à l'arbre de couche.

Pendant la quatrième course, la soupape d'échappement est maintenue ouverte, et il y a évacuation d'une partie des gaz brûlés.

Comme le piston ne descend jamais au fond du cylindre, il reste toujours dans le cylindre une certaine proportion de produits brûlés qui viennent se mélanger aux gaz explosifs.

On voit que le cycle du moteur Otto comporte quatre courses du piston et, par suite, deux tours de l'arbre moteur.

Les organes de distribution, d'échappement et d'allumage doivent donc fonctionner une fois par deux tours de cet arbre.

Ces organes sont commandés par un arbre auxiliaire, parallèle à l'axe du cylindre et mis en mouvement par un engrenage qui donne, à cet arbre auxiliaire, une vitesse moitié moindre de celle de l'arbre de couche. Cet arbre auxiliaire porte un manchon auquel un régulateur à boules centrifuges donne un mouvement de translation, et qui est muni d'une came. Lorsque la vitesse est normale, la came soulève un levier qui détermine, au moment voulu, l'admission du gaz. Quand la vitesse dépasse une certaine limite, le manchon se déplace, la came ne soulève plus le levier, il n'y a plus admission de gaz pendant un ou plusieurs tours, jusqu'à ce que la vitesse redevienne normale.

L'arbre auxiliaire porte également une came fixe, chargée d'ouvrir la soupape d'échappement. Il commande le tiroir qui distribue et allume le mélange explosif.

L'allumage s'effectue au moyen d'un petit jet de gaz, enfermé dans une capacité du tiroir, qui s'allume à une

flamme fixe et qui vient, à un instant déterminé, se mettre au contact du mélange détonant.

Pour les moteurs de force supérieure à 2 chevaux, la mise en marche est facilitée par la diminution de la compression dans le cylindre. Pour cela, la came d'échappement est montée sur un manchon qui peut glisser sur l'arbre auxiliaire. Ce manchon porte une deuxième came qui, pour la mise en marche, permet de faire communiquer le cylindre avec l'échappement pendant un temps très court de la période de compression.

La Compagnie française des moteurs Otto construit des machines horizontales à un seul cylindre depuis un demi-cheval jusqu'à 25 chevaux.

Cette compagnie construit également des machines à deux cylindres conjugués, dont l'un admet le gaz quand le second travaille. Le gaz est admis dans ces moteurs par des soupapes, le tiroir ne sert plus qu'à l'allumage. La force des machines à deux cylindres varie de 5 à 50 chevaux.

A l'Exposition de 1889, on a remarqué, dans la galerie des machines, un moteur Otto de 100 chevaux à quatre cylindres.

Dans le but de diminuer l'emplacement occupé, la même compagnie construit des moteurs verticaux dont le cycle est identique à celui des moteurs horizontaux. L'eau circule non seulement autour du cylindre, mais encore autour de tous les organes de distribution et d'échappement. Le régulateur à boules est remplacé par un régulateur à pendule d'inertie.

MM. Crossley frères, de Manchester, concessionnaires pour la Grande-Bretagne des brevets Otto, ont construit un moteur vertical, à un seul cylindre, de 120 chevaux.

Dans les petits moteurs verticaux Otto, dits *domestiques*, de 1/4 et 1/8 de cheval, l'allumage s'effectue au moyen d'un tube incandescent. Ces moteurs tournent à 270 et 300 tours. Ils sont les seuls qui se prêtent facilement à un changement de marche.

NOUVEAU MOTEUR LENOIR. — M. Lenoir a construit, en 1885, un moteur, horizontal, analogue à celui d'Otto, mais plus économique au point de vue de la consommation du gaz (fig. 80).

La chambre de compression a une forme particulière ; elle est rapportée à la suite du cylindre au lieu d'être prélevée sur sa longueur. Elle est munie d'ailettes de

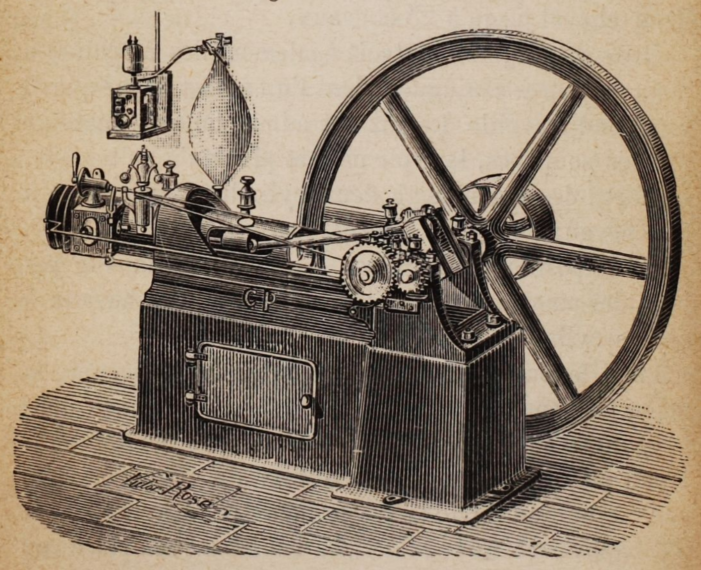


FIG. 80. — Moteur Lenoir.

refroidissement. Les parois intérieures de la chambre de compression sont maintenues à une température plus élevée que si elle était refroidie par un courant d'eau.

Ce moteur est muni de glissières cylindriques, qu'il faut démonter pour visiter le cylindre. Ces glissières guident parfaitement le piston.

L'allumage s'effectue au moyen d'une étincelle électrique.

On construit des moteurs Lenoir, à un cylindre, pour les forces de 1, 2, 4, 6 et 8 chevaux, et à deux cylindres pour 8, 16 12, et 24 chevaux.

La température plus élevée du mélange explosif, due à l'action du réchauffeur, et une compression préalable, relativement élevée (4 à 5 kilogrammes) ont permis d'abaisser sensiblement la dépense de gaz par cheval effectif. M. Hirsch a expérimenté un moteur Lenoir à deux cylindres, construit par MM. Rouart frères; il a constaté que la consommation de gaz a été de 9698 litres pour une force de 16,13 chevaux, soit 601,2 litres de gaz par cheval effectif et par heure[1].

« Des chiffres ci-dessus, dit M. Hirsch, on peut déduire le rendement thermique de la machine expérimentée. On sait que le rendement thermique d'une machine est le rapport du travail réel qu'elle développe au travail total correspondant à la chaleur que peut dégager le combustible consommé. Or, au cas actuel, on peut admettre les chiffres suivants :

« Équivalent mécanique d'une calorie, 425 kilogrammètres.

« Puissance calorifique d'un mètre cube de gaz, 5300 calories. L'équivalent en travail de la chaleur produite par un mètre cube de gaz est de 5300×425 et le ren-

[1] Hirsch, *Bulletin de la Société d'encouragement*, séance du 11 juillet 1890.

dement thermique de la machine considérée, laquelle consomme $0^{mc},6012$ par heure et par cheval effectif est

$$\frac{75 \times 60 \times 60}{0,6012 \times 5300 \times 525} = 0,20$$

Ce rendement thermique de 20 pour 100 est sensiblement le triple de celui qui a été indiqué par M. Hirsch, pour les bonnes machines à vapeur (voir page 302).

Moteur Simplex. — Il est intéressant de rapprocher ces chiffres de ceux obtenus par M. Witz, en novembre 1885, sur un moteur Simplex.

(Les moteurs Simplex sont analogues à ceux d'Otto. MM. Powell, Matter, de Rouen, ont installé, à l'Exposition universelle de 1889, un type de ces moteurs, à un seul cylindre, de 100 chevaux).

M. Witz a opéré avec du gaz de Lille, qui a un pouvoir calorifique égal à celui de Paris. La température d'échappement était de 350 degrés centigrades ; le moteur était refroidi par un courant d'eau qui, à l'entrée, avait une température de $10°,5$ et à la sortie une température de 74°. La température du gaz était de 10°.

Le travail, mesuré sur l'arbre de couche, s'est élevé à 8 chevaux 79. La dépense horaire, par cheval effectif, a été trouvée de 577 litres pour le gaz et de $19^{lit},9$ pour l'eau.

Cette consommation d'eau enlève 40 pour 100 de la chaleur totale développée par le gaz.

« Sur 3116 calories disponibles, dit M. Witz, 635 calories ont été transformées en travail effectif. C'est un rendement de 20 pour 100. Les machines à vapeur sont largement dépassées à ce point de vue exclusivement théorique. »

Prix de revient du cheval vapeur dans les moteurs a gaz. — Malheureusement, la calorie obtenue par la combustion du gaz, coûte plus cher que la calorie obtenue par la combustion de la houille, et l'augmentation du rendement thermique dans les moteurs à explosion ne compense pas, pour les forces importantes, l'élévation de prix du combustible consommé.

Cependant, à Paris, pour des forces inférieures à 4 chevaux, fonctionnant d'une façon continue, le gaz peut lutter contre la vapeur comme l'indique le tableau suivant que nous empruntons à l'ouvrage de M. Chauveau :

PRIX DE REVIENT DES FORCES MOTRICES A PARIS

	6 kgm. par heure	1/3 cheval par heure	2 chevaux par cheval-heure	4 chevaux par cheval-heure	25 chev. par cheval-heure
Manœuvres.	0,30 à 0,40	»	»	»	»
Mot. à gaz à compression.	»	0,283	0,348	0,289	0,283
Mot. à gaz sans compres.	0,186	0,343	»	»	»
Moteur à air chaud. . .	»	»	0,315	0,229	»
Machine à vapeur. . . .	»	»	0,330	0,253	0,088

Au delà de 4 chevaux, l'emploi des machines à gaz ne paraît devoir être recommandé que pour des cas spéciaux, des travaux intermittents, par exemple les applications électriques[1].

[1] On arrive dans les distributions électriques commandées par des moteurs à gaz, à obtenir le cheval électrique (736 watts)rendu aux *bornes* de l'abonné, avec une dépense horaire de 800 litres.

Les 40 watts qu'absorbent les lampes à incandescence, pour donner le pouvoir éclairant d'une carcel, nécessitent donc une dépense horaire de 43 litres de gaz seulement. Cette dépense doit être majorée de 25 à 30 pour 100, quand on intercale des accumulateurs dans la distribution électrique.

On a, depuis quelque temps, dans les grandes villes, distribué directement l'électricité au moyen de conducteurs en cuivre souterrains. Ces conducteurs sont très coûteux, il est impossible de les isoler d'une façon parfaite et les fuites d'électricité, les communications à la terre, sont des causes incessantes d'accidents, soit directes, soit indirectes, par suite de décompositions électrolytiques du sol.

Les conduites de gaz sillonnent depuis longtemps les rues de toutes les villes importantes. Elles constituent une véritable distribution d'énergie, qu'il est facile de transformer au moyen, de moteurs et dynamos, en énergie électrique. Les machines à gaz sont toutes désignées pour cette application.

Elles ont une assez grande vitesse, 150 à 200 tours à l'heure, qui permet d'attaquer directement les dynamos sans transmission intermédiaire. Leur mise en marche est instantanée. Elles ne consomment que quand elles travaillent; elles offrent plus de sécurité que les machines à vapeur et ne présentent pas l'inconvénient de la fumée.

Le sous-sol de nos voies publiques est suffisamment encombré par des canalisations de toute nature, pour qu'il ne paraisse pas indispensable de distribuer l'énergie sous plusieurs formes différentes.

EMPLOI, POUR LA PRODUCTION DE LA FORCE MOTRICE, D'AUTRES GAZ QUE LE GAZ DE HOUILLE. — On a cherché à abaisser le prix du combustible consommé dans les moteurs à explosion, en employant d'autres gaz que le gaz de houille.

On a, dans certains cas, fait usage de gaz très éclairants, obtenus par la distillation de pétroles, de corps

gras, de résines, de schistes. Ces gaz ont un pouvoir calorifique plus élevé.

M. Hunt, ingénieur d'une usine à gaz de Birmingham, a mesuré la consommation d'un moteur Otto, pour un même travail, quand on faisait varier le pouvoir éclairant du gaz. Il en a tiré les conclusions consignées dans le tableau suivant, où le gaz de 12 bougies est pris pour unité.

POUVOIR ÉCLAIRANT DU GAZ EN BOUGIES	VALEUR DU GAZ EN LUMIÈRE	VALEUR DU GAZ EN TRAVAIL
11,96	1	1
17,20	1,435	1,338
26	2,173	1,864
29,14	2,435	2,020

Mais les matières premières sont trop peu répandues. Leur prix en est généralement trop élevé pour que, sauf dans certains cas particuliers (voisinage de mines de schistes, proximité de certaines usines, telles que les raffineries de pétrole), on ait intérêt à fabriquer des gaz à pouvoir éclairant élevé, pour la production de la force motrice.

On a fait également fonctionner les moteurs à explosion avec de l'air carburé, produit dans des appareils analogues à ceux qu'on emploie pour l'éclairage, et dans lesquels l'air se charge de vapeurs de gazoline[1]. La consommation de gazoline est d'environ 3/5 de litre par

1 La gazoline est un mélange d'essences de pétrole excessivement volatiles dont la densité est de 0,650. Les points d'ébullition des différents carbures qui composent ce mélange sont compris entre 5° et 70°. MM. Desmarais frères livrent le litre de gazoline au prix de 0 fr. 60 environ. Un certain nombre de constructeurs, parmi lesquels nous citerons MM. H. Beau et Bertrand-Taillet, fabriquent des appa-

cheval et par heure. Le prix de ce liquide est en France trop élevée pour pouvoir lutter avec le gaz de houille, dans les villes où il existe des distributions de gaz.

L'air carburé peut rendre des services, surtout dans les cas où les machines doivent être mobiles, par exemple lorsqu'elles actionnent des bateaux.

Enfin, on a souvent alimenté les moteurs avec des gaz pauvres constitués par des mélanges d'hydrogène, d'oxyde de carbone et de produits inertes. Nous allons examiner succinctement ces gaz pauvres dans l'ordre inverse de leur puissance calorifique.

Aux chantiers de la Buire, sous l'inspiration de M. Lencauchez, on a fait brûler dans un moteur Simplex de six chevaux, les gaz d'un générateur analogue aux générateurs Siemens (le pouvoir calorifique de ces gaz est au mètre cube de 1300 calories [1]). La consommation de houille maigre a été de 750 grammes par cheval effectif.

Il résulte de cet essai que lorsqu'une usine est pour-

reils dans lesquels l'air se sature à froid de vapeurs de gazoline (un mètre cube d'air peut entraîner un demi-litre de gazoline).

On obtient ainsi une sorte de gaz d'éclairage, d'un pouvoir éclairant superieur de 20 à 30 pour 100 au gaz de houille, qui peut être distribué sans formation importante de condensations, dans un réseau de canalisation restreint, et qui peut alimenter des becs à verres, des brûleurs de chauffage à mélange d'air, et des moteurs à gaz. L'air carburé brûle mal dans les becs à flamme libre.

Cet air carburé peut rendre des services quand on n'a pus à sa disposition du gaz de houille.

[1] Dans le générateur La Buire Lencauchez, l'air destiné à former l'oxyde de carbone est envoyé par un ventilateur sous la grille, après s'être échauffé à 200° par un passage au travers d'un appareil tubulaire que chauffent les gaz de la combustion. Sous la grille est disposée une cuvette remplie d'eau. L'air chaud se charge d'humidité au contact de cette eau.

vue de gazogènes, on peut leur faire économiquement alimenter des moteurs à explosion ; mais quand il faut construire, pour la commande des machines, des gazogènes spéciaux, la conduite de ces appareils devient trop difficile pour qu'on doive en recommander l'emploi

Enfin on a fait usage d'appareils producteurs de gaz à l'eau, dans lesquels la vapeur d'eau, par un passage sur du carbone incandescent (coke ou anthracite) se décompose en hydrogène et oxyde de carbone.

Dans le plus simple de ces appareils, le gazogène Dowson, l'air chargé de porter le carbone à l'incandescence, et la vapeur d'eau surchauffée sont mélangés et agissent simultanément sur le coke ou l'anthracite. Les gaz produits contiennent 50 volumes de produits inertes (azote, etc.), 20 volumes d'hydrogène et 30 volumes d'oxyde de carbone (Witz). Le mètre cube en revient à environ 0 fr. 02, mais le faible pouvoir calorifique (1500 calories environ au mètre cube) entraîne dans les moteurs une forte consommation par cheval.

Nous avons cité les chiffres de consommation (577 litres de gaz de houille par cheval effectif) trouvés par M. Witz avec un moteur Simplex. M. Witz a alimenté le même moteur avec du gaz Dowson, il a obtenu les résultats suivants :

Travail effectif.	7 chevaux 22
Température du gaz Dowson.	9°
Température de l'eau à l'entrée.	9°
Température de l'eau à la sortie.	62°
Température de l'échappement.	400°
Consommation d'eau par cheval effectif. . .	26lit,1
Consommation de gaz par cheval effectif. .	2518 litres.

577 litres de gaz de houille équivalent donc 2518 litres de gaz Dowson, produits par 500 grammes d'an-

thracite. Le gaz Dowson, au point de vue du travail produit, ne vaut donc pas le quart du gaz de houille. L'infériorité du prix de revient du premier ne compense pas certainement un semblable écart dans les puissances calorifiques.

Nous ne dirons qu'un mot des appareils Strong'-Lowe, etc., assez usités en Amérique, dans lesquels on fait agir successivement et sans les mélanger, sur l'anthracite, l'air chargé de rougir cet anthracite et la vapeur d'eau dont on recueille séparément les produits de la décomposition. Ces produits ne sont pas ainsi souillés par l'azote de l'air.

Voici une analyse du gaz Strong, exécutée par M. Moore.

Hydrogène.	53	volumes.
Oxyde de carbone.	35	—
Carbures.	4	—
Gaz inertes.	8	—
	100	volumes.

Le pouvoir calorifique est d'environ 2500 calories. Il est presque la moitié de celui du gaz de houille.

Mais les appareils Lowe'Strong, etc., sont beaucoup trop compliqués, leur conduite demande trop de soins, pour qu'on doive songer à construire un de ces gazogènes pour alimenter un moteur. L'emploi de ces systèmes paraît réservé aux cas où l'on se résignerait, comme en Amérique, à faire des distributions de gaz à l'eau.

Le défaut d'odeur de ce gaz et son extrême toxicité l'ont depuis longtemps fait complètement proscrire en Europe.

CHAPITRE X

SOUS-PRODUITS DE LA FABRICATION DU GAZ

Coke. — Son utilité, son emploi, ses avantages. — Eau ammoniacale. Eau concentrée. — Alcali blanc. — Sulfate d'ammoniaque. — Goudron, son emploi. — Dérivés du goudron. — Huiles légères. Huiles lourdes. — Produits antiseptiques. — Matières colorantes. — Matières explosibles. — Brai.

La distillation de la houille en vase clos, pour la fabrication du gaz d'éclairage, donne naissance à un certain nombre de sous-produits qui sont, comme nous l'avons vu : le *Coke*, l'*Eau ammoniacale* et le *Goudron*.

Coke. — Le coke qui est au point de vue du volume, le plus important de ces sous-produits, est simplement de la houille carbonisée. Il reste dans la cornue lorsque le gaz s'est dégagé, en morceaux plus ou moins gros, suivant qu'il est plus ou moins agglutiné ; on le retire encore rouge, et on l'éteint immédiatement par aspersion d'eau ; cet arrosage favorise le départ d'une partie du soufre que contient le coke à l'état de sulfure de fer. Les qualités du coke dépendent beaucoup de la houille qui lui a donné naissance, mais en général, c'est un produit solide plus ou moins compact à texture rugueuse et sa

teinte approche du gris noirâtre ; il a souvent un éclat d'acier, et quelques morceaux ont une certaine sonorité ; il est très poreux et peut absorber une grande quantité d'eau, des expériences précises ont démontré qu'il pouvait absorber jusqu'à 40 et 50 pour 100 de son poids d'eau, cette particularité oblige le commerce des combustibles à livrer le coke mesuré à l'hectolitre et non au poids.

Le coke provenant de charbons distillés à haute température et en couches épaisses, est plus compact et s'approche beaucoup alors du coke produit pour la métallurgie dans des fours spéciaux, où la carbonisation a une durée variable de 24 à 72 heures.

La densité du coke des cornues à gaz est en moyenne de 0,4, c'est-à-dire que le mètre cube pèse 400 kilogrammes. Il renferme toutes les matières inorganiques fixes que contenait la houille dont il provient ; de plus il retient encore en proportions plus ou moins faibles, suivant la nature des houilles, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Le coke brûle avec éclat, presque sans flamme, et ne donne pas de fumée.

La puissance calorifique du coke n'a pas été déterminée directement : on peut admettre que cette puissance calorifique P est égale à celle du carbone qu'il contient : en appelant a la quantité d'eau contenue dans le coke et b la quantité de cendres exprimée en centièmes, 8080 calories représentant la puissance calorifique du carbone pur, on aura :

$$P = (1 - a - b)\ 8080.$$

pour des cokes contenant 2 à 3 pour 100 d'eau, et des proportions de cendres variant de 4 à 12 pour 100, la puissance calorifique varie de 7600 à 6500 calories. Pour une houille renfermant à peu près la même quan-

tité de cendres, la puissance calorifique n'est que de très peu supérieure.

Le coke demande une température assez élevée pour entrer en combustion, mais alors toute sa surface est portée à l'incandescence, et comme la chaleur émise par rayonnement est toujours proportionnelle à la surface du corps qui rayonne et fonction exponentielle de sa température, il en résulte que le coke est doué d'un pouvoir rayonnant considérable. Il convient donc particulièrement pour le chauffage dans les foyers ouverts où le bois ne donne qu'un rendement d'environ 6 pour 100 de la chaleur produite. De plus, comme le coke exige une assez grande quantité d'air pour alimenter la combustion, en même temps qu'il chauffe la pièce dans laquelle se trouve le foyer, il la ventile avec une certaine puissance, ce qui rend son emploi très hygiénique. On a essayé d'utiliser la chaleur emportée par une partie de cet air appelé du dehors en le faisant passer derrière la plaque de fonte qui forme le fond du foyer, et en le faisant revenir dans la pièce par des bouches de chaleur ; on a ainsi augmenté dans une certaine mesure la température de la pièce.

Divers appareils ont été construits en appliquant certaines règles provenant d'expériences précises, et les foyers ouverts à bouches de chaleur, dits foyers enveloppés, sont restés les types des meilleurs appareils à employer. On les alimente avec du coke en menus fragments, tels qu'ils ont été obtenus par un broyage et un tamisage dans les usines. Le foyer auquel nous faisons allusion est représenté, figures 81 et 82.

L'air extérieur alimente la combustion dans le foyer en passant sous la grille, puis pénétrant également en

dessous du cendrier, il s'échauffe en passant contre le fond du foyer porté à une température élevée, et ressort par des ouvertures pratiquées dans la façade. L'air de la pièce est ainsi maintenu à une température agréable, en même temps qu'il est fréquemment renouvelé.

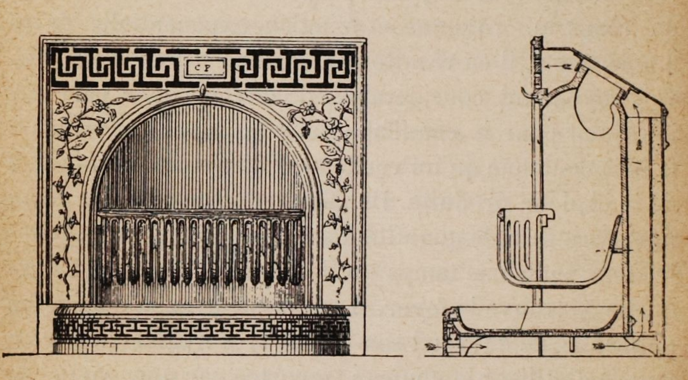


Fig. 81 et 82. — Foyer enveloppé à coke.

Le coke est également employé dans les poêles à alimentation continue dont les figures 83 et 84 représentent un type assez usité. Ce poêle-calorifère consiste en un corps cylindrique en fonte, enfermé dans une enveloppe en tôle, la base et la partie supérieure sont agrémentées de garnitures en cuivre ou en fonte plus ou moins décoratives. Les produits de la combustion s'échappent par une buse située latéralement ou au-dessus de l'appareil, et communiquant par un tuyau avec une cheminée d'appel. Le coke est versé dans la partie cylindrique centrale en fonte, les cendres passent sur une grille située à la partie inférieure, et l'air nécessaire à la combustion traverse les barreaux de la grille; la combustion se produit à peu près jusqu'à mi-hauteur

du corps cylindrique en fonte. L'air extérieur trouve également accès dans l'espace annulaire entre l'enveloppe cylindrique en tôle et le corps principal, s'échauffe au contact de la fonte portée à haute température ,et sort par des orifices placés latéralement à la partie supérieure de l'appareil. Ce poêle-calorifère chauffe à la fois par rayonnement et par adduction d'air chaud.

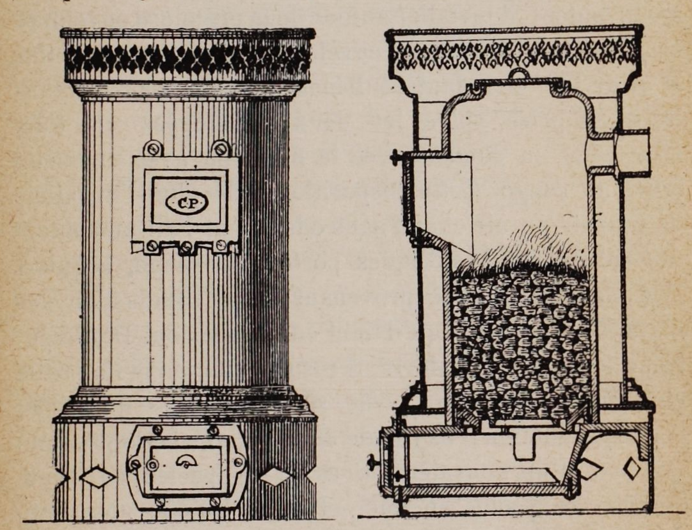


Fig. 83 et 84. — Calorifère à coke.

On estime[1] que l'appareil brûlant 1 kilogramme de coke par heure, peut suffire à une pièce de 150 mètres cubes de capacité ayant une surface de muraille de 145 mètres carrés, dont une moitié serait en contact avec l'air extérieur.

Il résulte d'expériences faites par le général Morin que

[1] Péclet, *Traité de la chaleur et de ses applications*.

la fonte des poêles, chauffée au rouge, déverse dans l'air ambiant une certaine quantité d'oxyde de carbone, le même effet se produit, mais à un degré moindre, avec le fer chauffé au rouge ; il est donc important que, dans les poêles-calorifères, la température ne s'élève pas au point de faire rougir le métal, qui se détériorerait d'ailleurs très rapidement. On a imaginé, pour obvier à cet inconvénient, d'installer autour de la première enveloppe en tôle, une deuxième enveloppe également en tôle et alors l'air circulant seulement dans la partie annulaire comprise entre les deux enveloppes en tôle, n'est plus en contact avec la fonte ou avec un métal porté au rouge. Cette disposition a de plus l'avantage de fournir un air chaud sans odeur, car l'air au contact des substances métalliques portées au rouge, acquiert une mauvaise odeur provenant de la combustion des matières organiques qu'il tient en suspension. Des expériences du général Morin, il résulte que, dans une salle chauffée à l'aide d'un poêle, soit en fonte, soit en tôle, il y a production d'oxyde de carbone, que cette production est plus considérable avec les poêles en fonte qu'avec les poêles en tôle, et enfin qu'elle augmente encore lorsque les poêles sont enduits de plombagine.

Voici le résultat des essais :

Proportion d'oxyde de carbone dans l'air.

Poêle en fonte.	0,0014
Le même enduit de plombagine.	0,0017
Poêle en tôle emboutie.	0,00041
Le même enduit de plombagine.	0,0122

Il y a lieu de remarquer toutefois que les calorifères à double enveloppe en tôle développent une température moindre pour le même poids de combustible brûlé.

Dans ces dernières années, on a imaginé divers types de poêles à combustion lente munis d'un tuyau de dégagement et qui peuvent se transporter de pièce en pièce, chauffant ainsi successivement tout un appartement.

Ces appareils sont très économiques, mais c'est leur seule qualité, car ces poêles sont de véritables générateurs d'oxyde de carbone, et pour peu, ce qui est assez fréquent, que l'obturation du corps cylindrique contenant le combustible, ne soit pas complète, ou que le tirage soit insuffisant, l'oxyde de carbone reflue dans l'appartement et produit des cas d'empoisonnement rapide amenant la mort ou déterminant des malaises, peu appréciables au début, mais qui détériorent la santé à la la longue. On sait en effet qu'il suffit de 1/4000 d'oxyde de carbone dans l'atmosphère d'une chambre close pour en rendre le séjour dangereux, et de 1/400 pour entraîner la mort certaine des personnes qui s'y trouvent. Ces poêles mobiles ont été condamnés à plusieurs reprises par l'Académie de médecine de Paris, et nous n'en faisons mention ici que pour indiquer que l'emploi doit en être sévèrement proscrit.

Le coke est utilisé dans les fourneaux de cuisine, et un grand nombre d'appareils de types et de grandeurs variés ont été construits dans le but d'employer ce combustible. La principale condition à remplir est de donner au foyer des dimensions suffisamment grandes pour contenir un certain volume de coke, car ce dernier pesant environ moitié moins que la houille, occupe deux fois plus de place pour le même poids de substance combustible. En outre, comme le pouvoir rayonnant du coke est très élevé, le revêtement intérieur du foyer doit être, autant que possible, établi en briques réfractaires,

afin de résister plus longtemps à l'intensité du feu. Les gaz chauds, avant d'arriver à la cheminée, peuvent être dirigés autour des fours, des étuves, des bains-marie, etc., que contient l'ensemble du fourneau, et le résultat obtenu est sensiblement le même qu'avec de la houille. On a, de plus, l'avantage de ne pas produire de fumée, d'éviter ainsi les encrassements des tuyaux par la suie et de prévenir toute chance d'incendie; en outre, la manutention du coke est incomparablement plus propre, dans une cuisine, que celle de la houille.

Le coke peut brûler dans toutes les cheminées, pourvu qu'il y ait un peu de tirage, et l'adjonction d'une simple grille en fonte, montée sur quatre pieds, suffit pour faciliter l'usage du coke. Ce combustible, quand il provient de la distillation de la houille dans les cornues à gaz, est moins dur que le coke fabriqué spécialement pour les besoins des usines métallurgiques, et il s'allume facilement. Après avoir bien nettoyé la grille et complètement enlevé les cendres, on dispose sur la grille un peu de menu bois ou copeaux : on place au-dessus quelques morceaux de coke de moyenne grosseur ; on met le feu au bois ou aux copeaux et, lorsque le coke commence à rougir, on ajoute peu à peu de nouveau coke jusqu'à ce que le foyer soit plein. Il faut maintenir le foyer toujours plein ou presque plein de coke, c'est le meilleur moyen d'entretenir le feu ; on fait tomber, de temps en temps, la cendre qui se produit, au moyen d'un petit outil en fer, et on augmente ainsi l'accès de l'air nécessaire à la combustion. On peut même, à volonté, diminuer l'ardeur du foyer, en recouvrant la masse du combustible d'un peu de poussier de coke, qui suffit à entretenir la combustion pendant de longues heures.

Le coke peut également être utilisé pour l'alimentation des calorifères de cave destinés à chauffer de l'air qui, par des conduites en plus ou moins grand nombre se répand dans les espaces à chauffer. Ce mode de chauffage est celui qui convient le mieux pour un hôtel particulier et pour de vastes établissements.

Il a l'inconvénient de ne pas laisser voir le feu, mais il entretient une chaleur douce, et si l'arrivée d'air froid est bien calculée, l'air des pièces à chauffer se renouvellera suffisamment, par quelques orifices disposés à la partie supérieure de ces pièces, et par les joints des portes et des fenêtres. On a ainsi l'avantage de maintenir toutes les pièces et les couloirs à une même température, et d'éviter les transitions brusques.

Depuis quelques années, le coke des cornues à gaz, qui était autrefois presque exclusivement employé pour les besoins du chauffage domestique, a trouvé de nombreuses applications dans l'industrie. Les fours à chaux, les fours à plâtre, les fours à revivifier les noirs dans les raffineries, les fours de boulangers, de pâtissiers, les étuves de fonderie, de verrerie, le grillage des étoffes, le séchage des appartements, etc., etc., en emploient de grandes quantités.

Le coke est le combustible particulièrement indiqué pour l'alimentation des gazogènes, ou des appareils à production d'oxyde de carbone. Ces appareils exigent, en effet, pour la production rapide d'oxyde de carbone, un combustible qui ne boursoufle pas et qui ne remplisse pas les carneaux de matières goudronneuses; lorsqu'on dispose d'une hauteur suffisante au-dessus des grilles à gradins qui sont installées dans les gazogènes, l'emploi du coke est très avantageux.

On s'est également servi de ce dernier combustible pour le chauffage des générateurs à vapeur, et des expériences précises répétées pendant plusieurs semaines sur les grandes chaudières du service des eaux de la ville de Paris, ont démontré que, à poids égal, le coke vaporisait exactement la même quantité d'eau que la houille de bonne qualité.

Il est même hors de doute que le coke sera prescrit, à l'avenir, pour toutes les installations industrielles établies dans l'intérieur des grandes villes, car les panaches de fumée noire du charbon salissent les monuments publics et apportent, dans l'intérieur des habitations voisines, des poussières noirâtres et collantes qui dégradent les meubles et les tentures, et obscurcissent quelquefois l'atmosphère.

Le coke du gaz est également employé pour le chauffage des machines locomotives, des machines de tramways à vapeur et des machines de bateaux ; sa combustion, qui se produit absolument sans fumée, lui assure un grand avantage sur le charbon, et s'il n'occupait pas un trop grand volume sur le tender, son emploi se développerait beaucoup plus.

Enfin, dans l'industrie du fer, dans les hauts fourneaux par exemple, on l'a utilisé concurremment avec le coke métallurgique, et on a retiré particulièrement de bons résultats de son emploi dans les petits hauts fourneaux de dix à douze tonnes, où l'on se servait autrefois exclusivement de charbon de bois.

Le coke destiné aux usages domestiques et industriels, n'est pas toujours laissé, comme en Angleterre, à l'état de coke tout-venant, c'est-à-dire tel qu'il sort des cornues ; il subit, dans beaucoup d'usines, un cassage

et un classement qui l'approprient aux appareils dans lesquels il doit être consommé. A cet effet, le coke tout-venant est amené dans des broyeurs formés de deux cylindres concasseurs armés de lames coupantes, et qui tournent en sens inverse l'un de l'autre.

De là, il est déversé dans des blutoirs dont les parois sont formées de toiles métalliques à mailles de dimensions variables, suivant la grosseur des morceaux que l'on veut obtenir. Ces cylindres sont animés d'un mouvement de rotation autour de leur axe. Un moteur quelconque communique le mouvement aux divers appareils concasseurs et cribleurs.

Utilisation des poussiers de coke. — Ce broyage et ce tamisage produisent en même temps une certaine quantité de menu coke et de poussier dont l'usage était autrefois très limité. Ce poussier de coke est employé aujourd'hui à la fabrication des briques en terre cuite; dans le mélange destiné à constituer la brique, il remplace le sable dans une certaine proportion, de telle sorte que la brique porte avec elle son propre combustible qui étant ainsi uni intimement à la pâte, la cuit uniformément dans toutes les parties. La brique, lorsqu'elle est cuite par ce procédé, est plus légère et plus poreuse, mais elle a l'avantage de pouvoir beaucoup mieux prendre le mortier.

Ce même poussier de coke est utilisé pour la cuisson des ciments romains, des ciments de Vassy., etc, enfin de tous les ciments à prise rapide qui n'exigent qu'une température peu élevée. On s'en sert également avec avantage pour le chauffage des générateurs à vapeur; le mélange de 50 pour 100 de fines de coke et de 50 pour 100 de fines grasses de houille a produit d'excellents

résultats dans de grandes usines ; on a soin avant de l'employer, de faire une sorte de pâtée avec de l'eau, et on jette le mélange ainsi formé sur les grilles dont les barreaux n'ont qu'un faible écartement, 6 à 8 millimètres. Le tirage ordinaire suffit sans introduction de vent forcé, et aucune modification spéciale n'a été ap-

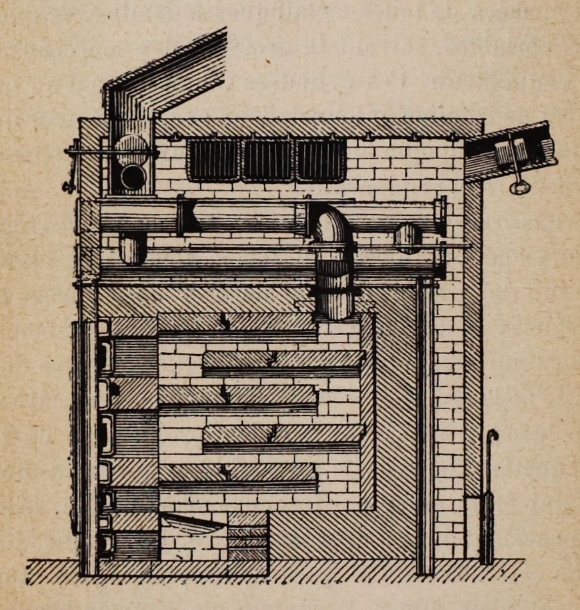


Fig. 85 — Calorifère système Perret.

portée au foyer. Enfin, le poussier de coke est employé dans la confection d'agglomérés ou de briquettes où il entre pour 90 pour 100, avec un mélange de 10 pour 100 de brai.

L'abondance des déchets pulvérulents ne permet pas cependant de les utiliser toujours en totalité, et M. Michel Perret a imaginé un foyer capable de brûler ces

résidus, non seulement sans aucune préparation, mais encore d'une manière aussi complète que possible. Cet appareil constste en un foyer à étages multiples. Les figures 85 et 86 représentent un foyer à quatre étages appliqué au chauffage d'un calorifère. Chaque étage est formé d'une dalle réfractaire d'une seule pièce, et ces dalles sont légèrement cintrées pour augmenter leur

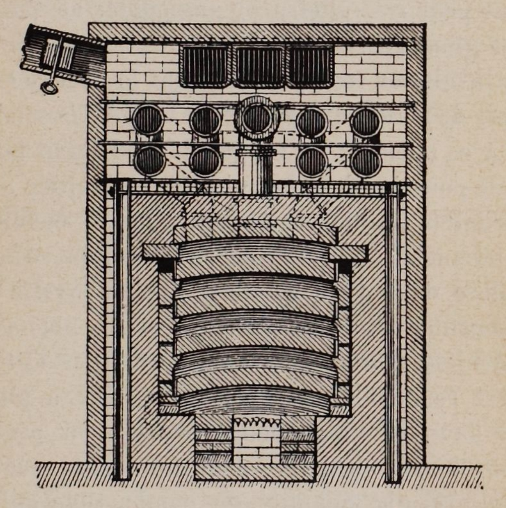


Fig. 86. — Calorifère système Perret.

solidité. La façade du massif est percée de quatre ouvertures superposées, garnies de portes qui servent à l'introduction et à la manœuvre du combustible sur les étages, et à l'extraction des résidus du cendrier.

Les dalles sont maintenues par des supports fixés aux parois latérales du foyer qui sont construites en briques réfractaires, et le tout est enveloppé d'un massif en briques ordinaires, de manière à éviter la déperdition de la chaleur. La combustion s'opère au moyen

d'air chaud ; à cet effet, on utilise le rayonnement de la plaque de devanture en fonte en disposant devant elle une porte en tôle qui fait fonction d'écran et l'air destiné à l'alimentation est forcé de passer entre ces deux surfaces métalliques portées à une certaine température. Il se rend ensuite à chaque étage par de petites ouvertures pratiquées devant les portes, et que le chauffeur peut restreindre ou augmenter au moyen de réglettes glissantes.

Pour la mise en train, on fait dans le cendrier un feu flambant, de manière à porter au rouge l'ensemble des étages. A ce moment, on les garnit tous d'une première couche de poussier de coke qui entre en ignition au contact des dalles chauffées au rouge. On fait ensuite descendre le combustible d'étage en étage, en recouvrant la première dalle devenue libre d'une nouvelle couche de combustible frais, qu'on étale convenablement, de manière à laisser libre la circulation de l'air. Cette opération est renouvelée, suivant les besoins, à plusieurs reprises dans les vingt-quatre heures. On peut ainsi faire consommer au foyer, sans nuire à la régularité de son allure, une quantité de combustible qui passe du simple au quadruple. Les chiffres observés font varier la consommation de 2 à 8 kilogrammes par heure et par mètre carré de la surface d'un étage. Ce résultat s'obtient au moyen d'un registre qui règle la sortie des gaz de la combustion, et de l'ouverture plus ou moins grande des petites portes qui donnent accès à l'air d'alimentation.

Le combustible est entièrement brûlé, ne laissant d'autres résidus que des matières terreuses ; la combustion est ainsi continue, très lente et, par suite, l'économie de chauffage assez considérable.

Dans le calorifère à air chaud représenté par les figures 85 et 86, l'air froid monte derrière le foyer par un carneau spécial, sèche successivement tous les tubes à fumée et vient s'accumuler à la partie supérieure du massif dans une chambre où se font les prises d'air chaud pour le chauffage.

Cet appareil est employé pour le chauffage des hôtels particuliers, des églises, des grands édifices et également dans l'industrie, dans les étuves, les séchoirs, etc.

On a également appliqué un foyer analogue destiné à la combustion des menus de coke au chauffage des générateurs de vapeur.

Eau ammoniacale. — Les eaux ammoniacales provenant des condensations recueillies dans les divers appareils des usines à gaz sont traitées pour en extraire l'ammoniaque qu'elles renferment. On les amène dans des chaudières où on les mélange avec de la chaux soigneusement éteinte et blutée, les eaux sont portées à l'ébullition, les sels ammoniacaux sont décomposés par la chaux et produisent un mélange de gaz ammoniac et de vapeur d'eau ; on condense la vapeur d'eau dans un serpentin, on fait passer les vapeurs ammoniacales dans une sorte de flacon laveur, et au sortir de cet appareil, les vapeurs d'ammoniaque presque pure sont dirigées par un tube en plomb, dans un récipient à saturation où l'on a introduit, soit de l'acide chlorhydrique quand on veut obtenir du chlorhydrate d'ammoniaque, soit de l'acide sulfurique pour obtenir du sulfate d'ammoniaque.

L'appareil distillatoire le plus généralement utilisé en France pour le traitement des eaux ammoniacales provenant de la condensation du gaz, est dû à M. Mallet.

On se sert également des appareils continus du système Solvay et des colonnes distillatoires de Champonnois (système Margueritte).

Dans l'appareil Solvay, il n'est fait usage que d'une seule chaudière à deux compartiments, chauffée à feu nu et remplissant, par suite de la disposition combinée des compartiments, le même objet que les deux chaudières de l'appareil Mallet.

Dans l'appareil à colonnes, système Margueritte, qui est composé de tronçons superposés, le chauffage se fait à la vapeur.

Dans certaines usines anglaises, on emploie un autre procédé qui serait plus onéreux en France à cause de la dépense de combustible et qui consiste à saturer directement, par un acide chlorhydrique, ou sulfurique, suivant les cas, les eaux de condensation, et à évaporer ensuite la liqueur neutre jusqu'à cristallisation.

Lorsque la saturation de l'ammoniaque par l'acide sulfurique est complète, on enlève le sel qu'on fait égoutter dans des caisses en bois inclinées, et on sèche le produit au moyen de la chaleur perdue des fours.

Le sulfate d'ammoniaque ainsi obtenu est pur et d'un blanc mat. On retire environ 50 kilogrammes de sulfate par mètre cube d'eau à 2° ou 3° Baumé soumise au traitement précédent.

Alcali volatil. — Le même appareil de M. Mallet, employé pour la production du sulfate d'ammoniaque, peut être utilisé pour la fabrication du produit connu sous le nom d'*alcali volatil;* il suffit de faire circuler les vapeurs ammoniacales, qui sortent du serpentin, dans un certain nombre de vases à trois tubulures, ana-

logues à des flacons de Woolf, et qui servent de condensateurs.

Eau concentrée. — On se borne quelquefois à concentrer simplement jusqu'à 15° Baumé des eaux ammoniacales ordinaires, et on a utilisé le produit dans la fabrication de la soude artificielle par les procédés Schloesing, Solvay, etc., etc.

Les emplois des sels ammoniacaux sont nombreux ; le chlorhydrate d'ammoniaque est utilisé dans *l'étamage et les soudures à l'étain;* dans *l'impression des tissus*, on s'en sert pour *aviver les couleurs*.

L'*alcali volatil* est employé dans les laboratoires et dans la pharmacie; dans la teinture, il sert pour la préparation de la cochenille ammoniacale et de l'orseille ; et les appareils destinés à la fabrication de la glace artificielle en consomment des quantités importantes.

Sulfate d'ammoniaque. — Le sulfate d'ammoniaque sert de base à la fabrication des aluns, mais on l'emploie particulièrement comme engrais. Il dose 20 à 21 pour 100 d'azote. C'est un sel hygrométrique qui doit être conservé dans un local sec et clos. Le sulfate d'ammoniaque n'est pas facile à falsifier, pour s'assurer de sa pureté, il suffit d'en jeter une pincée dans un verre d'eau ; le sel, s'il est pur, doit se fondre immédiatement et ne laisser aucun dépôt au fond du verre. En soumettant ce sel à une température élevée, tout s'évapore ; on peut en faire l'expérience dans une cuiller en fer ; si, dans un but de fraude, on y avait mélangé des sels minéraux solubles, ces matières étrangères laisseraient un résidu solide.

Le sulfate d'ammoniaque est riche en azote assimilable par les plantes ; il agit sur le sol par son azote et

aussi par son acide sulfurique, qui fournit aux plantes la quantité de soufre qu'elles réclament, et qui aide aussi à l'assimilation de la potasse contenue dans le sol.

Le sulfate d'ammoniaque n'apportant au sol que de l'azote et du soufre, ne doit pas être considéré comme un engrais complet, pas plus que le nitrate de soude, le nitrate de potasse, les sulfates de potasse et de magnésie, les phosphates de chaux naturels, etc., employés isolément; c'est un complément de fumure qui assure et active le départ de la végétation et donne à la plante une grande vigueur. Il faut donc l'employer à dose modérée, si l'on veut éviter la verse pour les céréales, et une trop grande extension des feuilles au détriment de la racine ou du tubercule, pour les pommes de terre et les betteraves. On ne pourrait l'appliquer à haute dose que dans des terres largement pourvues, par des fumures composées, des autres substances utiles aux végétaux.

Le sulfate d'ammoniaque, comme toute matière azotée, est utile à toutes les plantes. Il convient principalement aux céréales, aux prairies naturelles, aux lins, aux chanvres, aux colzas et à toutes autres plantes oléagineuses, aux betteraves et aux pommes de terre. Les légumineuses, les trèfles, luzernes et autres fourrages, prenant dans l'atmosphère la majeure partie de leur azote, le sulfate d'ammoniaque ne doit leur être appliqué que pour assurer la levée de la graine, et à faible dose.

Pour les céréales, soit qu'on l'emploie seul, soit qu'on l'ajoute à un engrais minéral ou au fumier de ferme, le sulfate d'ammoniaque doit être appliqué à la dose de 150 à 300 kilogrammes, au maximum, par hectare. suivant l'état du sol. Si le sol est bien fumé, le maximum de la dose ne sera pas nuisible et n'amènera pas

la verse; au contraire, dans un terrain pauvre, un excès développera outre mesure la végétation herbacée et produira plus de paille que de grain.

Pour les betteraves et les pommes de terre, 150 à 200 kilogrammes suffisent à l'hectare; à plus haute dose, la betterave serait aqueuse et peu riche en matière saccharine, et la pomme de terre donnerait une fane trop vigoureuse aux dépens des tubercules.

Pour le lin, 100 kilogrammes suffisent à l'hectare. Pour le chanvre, le colza et autres plantes oléagineuses, on peut, suivant l'état des terres, varier la dose de 200 à 300 kilogrammes. Pour les prairies naturelles, on en met de 100 à 200 kilogrammes à l'hectare; une plus haute dose nuirait au regain.

Le sulfate d'ammoniaque s'emploie : à l'automne pour les céréales et autres plantes d'hiver; au commencement du printemps sur les prairies naturelles, sur les blés de mars, les avoines et autres semis du printemps, et d'avril à fin mai pour les betteraves et les pommes de terre. Pour les blés, beaucoup d'agriculteurs mettent moitié de la dose à l'automne sur le labour, et moitié au printemps, en couverture.

On répand facilement le sulfate d'ammoniaque à la volée, soit seul, ou mieux mélangé avec moitié de son poids de plâtre ou de cendres. On peut aussi le répandre avec le semoir à engrais. Il ne faut jamais le mélanger avec de la chaux, ni le répandre sur une terre fraîchement chaulée; la chaux volatiliserait son azote au détriment de la plante. Le sulfate d'ammoniaque doit être enterré par un labour, ou un bon hersage.

Goudron. — Son emploi. — Dans les citernes ser-

vant à recueillir les produits de la condensation du gaz, on rencontre au-dessous des eaux ammoniacales, une substance gluante, noirâtre, épaisse, plus ou moins visqueuse et huileuse et dont l'odeur est désagréable; cette substance est le *goudron de houille*. Ce produit était autrefois très encombrant et on ne cherchait qu'à s'en débarrasser, à l'état brut, de la façon la plus avantageuse possible.

Peu à peu, on a trouvé un certain nombre d'emplois pour le goudron, ainsi, par exemple, on l'a utilisé pour le *chauffage des cornues* à gaz; cet emploi nécessite un appareil spécial, faisant tomber le goudron goutte à goutte sur une petite dalle en terre réfractaire, où il se brûle au contact de l'air. Le goudron un peu fluide convient mieux pour cet usage que le goudron épais, et une faible quantité d'eau, contenue dans le goudron, n'est pas nuisible.

Le goudron a été appliqué également avec succès dans la fabrication des matériaux de couverture, *carton goudronné*, *carton bituminé*, *carton pierre*. On emploie de la pâte à papier, séchée à l'air, qu'on fait bouillir dans du goudron déshydraté. Il faut toujours que la partie supérieure de la pâte soit recouverte d'un excès de goudron.

Le goudron peut être utilisé dans la peinture des bois, de la maçonnerie, des métaux. La maçonnerie est bien préservée de l'humidité par une couche de goudron. Pour les métaux, on emploie le goudron à chaud; il forme alors comme une sorte de vernis très brillant. On l'emploie principalement pour les pièces de fer soumises aux intempéries, pour certaines charpentes, pour les réservoirs, pour les gazo-

mètres, pour les conduites d'eau et de gaz, etc., etc. Enfin, dans l'arboriculture, il est très utile pour panser les plaies des arbres, arrêter la pourriture et empêcher les attaques des parasites.

Dérivés du goudron. — En étudiant le goudron avec soin, on reconnut qu'il renfermait à la fois des composés acides, alcalins ou neutres, et qu'il pouvait donner naissance à une foule de produits utilisables séparément. On procéda alors à un traitement spécial, dont nous allons examiner seulement les grandes lignes, en indiquant, pour les produits les plus importants, les applications industrielles qui en dérivent.

Le goudron, étant généralement condensé avec des eaux ammoniacales, retient une certaine proportion de ces eaux emmagasinée mécaniquement ; on n'a pas pu séparer cette eau par décantation, et la première opération à faire subir au goudron consiste dans la déshydratation ; on l'obtient en chauffant le goudron à feu nu, dans de grandes chaudières dont on porte lentement la température à 80° ou 90°, et en ayant soin de recueillir dans des réfrigérants, les produits les plus volatils qui se dégagent à basse température. Au bout de vingt-quatre heures environ, la séparation est suffisante et par décantation, on sépare la partie aqueuse du goudron qui la renfermait.

Le goudron deshydraté et encore chaud est introduit dans une chaudière, où il est soumis à la distillation. Cette opération doit être conduite avec prudence, à cause de la grande inflammabilité des produits. La chaudière doit être légèrement inclinée du côté du robinet de vidange, qui est situé à l'extrémité opposée à celle occupée par le foyer; cette disposition est rendue néces-

saire pour vider la chaudière, et enlever facilement le résidu de la distillation, qu'on appelle *brai*, et qu'on retire quand il est encore chaud, pour lui maintenir un peu de fluidité.

Les premières parties qui distillent sont des *huiles légères* dont le point d'ébullition varie de 30° à 180° ; leur mélange constitue un liquide limpide très fluide, d'une densité de 0,780 à 0,850. On les reçoit à part.

La deuxième partie dont le point d'ébullition varie de 180° à 350° et au delà, sont des *huiles lourdes* dont la densité varie de 0,850 à 0,920. On les recueille également dans des réservoirs spéciaux. Afin d'éviter les infiltrations dans le sol, on emmagasine les huiles légères, les essences et les huiles lourdes, dans des réservoirs métalliques montés sur des supports ; et on remplit ces réservoirs au moyen de pompes à vapeur et de monte-jus. On a soin de disposer des bassins en maçonnerie, pleins d'eau, au-dessous des réservoirs à essences, afin de rendre l'isolement encore plus complet.

Huiles légères. — En distillant séparément, dans d'autres appareils, les huiles légères et les huiles lourdes, et en fractionnant les opérations pour isoler certains produits, on trouve dans les huiles légères, entre autres produits, le *benzol*, d'où l'on extrait la *benzine* et le *toluène*, et dans les huiles lourdes, le *phénol* ou *acide phénique*, la *naphtaline*, l'*anthracène*, etc., etc.

Benzine. — A la température ordinaire, c'est une huile limpide, incolore, d'une odeur éthérée, qui brûle avec une flamme très brillante et très fuligineuse ; la benzine, peu soluble dans l'eau, est soluble dans l'esprit de bois, dans l'alcool et dans l'éther. Elle dissout les résines, les cires, les graisses, les huiles, le caoutchouc

et la gutta-percha ; elle dissout aussi la quinine et la morphine. On l'emploie pour le dégraissage ; son action est très rapide et elle n'altère ni le brillant, ni l'apprêt des étoffes.

En frottant le papier ordinaire avec de la benzine, on le rend transparent et on obtient ainsi du papier à décalquer. L'huile rancie sur les pièces des machines est dissoute par la benzine. Celle-ci se volatilise très rapidement et ne laisse presque aucune odeur sur les étoffes quand on s'en est servi ; elle n'altère pas les tissus et ravive les couleurs. Enfin, on peut se servir de la benzine, qui est un carbure très riche, pour rendre très éclairant du gaz pauvre ou même de l'air atmosphérique. La benzine est un antiseptique : elle détruit les végétations parasites et exerce une action vésicante sur la peau.

La benzine traitée par l'acide nitrique à froid donne de la *nitro-benzine*. C'est un produit huileux dont l'odeur a beaucoup d'analogie avec celle de l'essence d'amandes amères ; on l'emploie dans la parfumerie, dans la fabrication des liqueurs et de certaines pâtisseries. La nitro-benzine est généralement connue, dans le commerce, sous le nom d'*essence de mirbane*.

TOLUÈNE. — Ce corps qui accompagne la benzine dans le benzol est, à l'état pur, une huile incolore, mobile, très réfringente et d'une odeur analogue à celle de la benzine, mais plus suave.

Le toluène a la propriété de décolorer entièrement la teinture d'indigo.

ACIDE PHÉNIQUE. — En traitant les produits de la distillation du goudron dont le point d'ébullition varie de 150° à 220°, on isole un corps qui a des propriétés acides et qu'on nomme le phénol ou acide phénique.

Ce corps se présente sous la forme d'une huile incolore, cristallisable en beaux cristaux d'un blanc nacré. Ses propriétés antiseptiques sont très remarquables, et, à l'état pur, on l'emploie depuis longtemps dans la thérapeutique. L'acide phénique attaque la peau et détruit les membranes muqueuses. On l'emploie dans le pansement des plaies et des ulcères et dans le traitement des maladies de la peau ; il tue rapidement les parasites de toute nature et arrête la putréfaction des tissus. Il est caustique et même légèrement vénéneux ; il faut donc l'employer avec prudence, surtout à l'intérieur. Ses propriétés antiseptiques ont été utilisées pour la préparation des peaux d'animaux qu'il rend imputrescibles.

A l'état brut, on l'emploie en grandes quantités pour la désinfection des eaux vannes, des résidus du tannage, des eaux provenant du rouissage du chanvre et du lin, des distilleries, etc., etc. Il rend de grands services pour l'assainissement des hôpitaux, des navires, des abattoirs, des égoûts.

Un des débouchés les plus importants de l'acide phénique est la teinturerie ; on transforme, en effet, facilement, au moyen de l'acide nitrique, l'acide phénique en *acide picrique*, qui donne une couleur d'un beau jaune et sert à teindre les soies [1].

Certains produits dérivés de l'acide phénique et de l'acide picrique sont utilisés dans la pyrotechnie, pour la fabrication des poudres brisantes et des explosifs d'une grande puissance.

NAPHTALINE. — Dans le traitement des huiles lourdes, on isole également la *naphtaline* qui est une matière

[1] Voy. Léo Vignon, *La Soie*, p. 270.

incolore d'une odeur goudronneuse, d'une saveur âcre et aromatique ; elle cristallise en lamelles rhomboïdales très minces, elle est insoluble dans l'eau froide, très peu soluble dans l'eau bouillante et très soluble dans l'alcool, l'éther et les huiles essentielles.

Lorsque le gaz d'éclairage, qui en renferme également une certaine quantité, est exposé à un refroidissement brusque, elle se dépose dans les conduites et forme des amas qui diminuent considérablement la section des tuyaux de canalisation ; on ne peut l'enlever facilement que par des procédés mécaniques.

La naphtaline brûle, en donnant une flamme très fuligineuse ; on a utilisé cette propriété pour la fabrication du noir de fumée : elle est très antiseptique et employée dans la préparation des peaux, pour assouplir les cuirs.

Paraffine. — Les huiles lourdes contiennent encore de la *paraffine*, substance incolore cristallisable analogue au blanc de baleine ; elle est insoluble dans l'eau, peu soluble dans l'alcool et très soluble dans l'éther et les huiles essentielles ; elle brûle avec une flamme brillante non fuligineuse. On se sert de la paraffine pour la fabrication des bougies demi-transparentes ; on emploie également la paraffine pour augmenter l'imperméabilité des tissus.

Aniline. — En traitant la nitro-benzine, dont nous avons parlé plus haut, par des agents de réduction variés, on obtient un produit connu sous le nom d'*aniline* qu'on extrait aujourd'hui en quantités considérables pour la fabrication des matières colorantes dites d'aniline. Ces matières sont très nombreuses et comprennent, d'une façon générale, les violets d'aniline,

les rouges d'aniline ou *fuchsine* et leurs dérivés (violets, bleus et verts) ; le noir d'aniline, les jaunes et bruns d'aniline. Ces matières tinctoriales produisant des teintes excessivement variées, d'un bel éclat, et résistant suffisamment aux effets de la lumière solaire et de l'humidité, ont remplacé, dans un grand nombre de cas, les matières tinctoriales végétales.

Dans ces dernières années, on est parvenu à isoler de l'huile de houille, l'*indigotine* qui est la base des belles couleurs bleues extraites de l'indigo.

Enfin, on a trouvé également dans les huiles de houilles, une matière éminemment sucrée qu'on désigne sous le nom de *saccharine*, qui est l'analogue de la saccharine de la canne à sucre et de la betterave et possède une puissance sucrante excessivement élevée. Ce produit fabriqué à l'étranger, principalement en Allemagne, n'a été que peu employé jusqu'à ce jour, et les hygiénistes ont reconnu qu'il fallait s'en servir avec la plus grande prudence.

Anthracène. — Lorsqu'on élève notablement la température pendant la dernière période de la distillation des goudrons, on provoque un dégagement spécial d'*huiles vertes*, qui tiennent en suspension de l'anthracène qu'elles laissent ensuite déposer. Par un traitement approprié, on convertit l'anthracène en *alizarine* artificielle dont la composition et les propriétés sont les mêmes que l'alizarine de la garance. L'alizarine artificielle donne des teintes d'une belle couleur rouge.

Huiles lourdes. — A l'état brut, les huiles lourdes sont employées, sous le nom de *créosote*, à l'injection des bois, et en particulier à l'injection des traverses de chemins de fer. Les diverses espèces d'huiles que ren-

ferme la créosote possèdent les propriétés antiseptiques les plus puissantes, elles empêchent la décomposition putride des bois en en coagulant l'albumine ; en s'introduisant dans la totalité des tubes capillaires et en remplissant tous les pores du bois, ces huiles empêchent l'accès de l'air et de l'eau et closent hermétiquement les fibres ligneuses.

Les huiles lourdes sont insolubles dans l'eau, et inaltérables à l'action de l'air et des variations de température ; elles préviennent les moisissures et s'opposent à l'attaque des insectes par leur action délétère instantanée. Elles conviennent donc très bien pour la préservation des bois exposés à l'air, comme les palissades, les supports de tous genres, les madriers des tabliers des ponts, etc., etc.

On applique également les huiles lourdes à l'éclairage pour obtenir des foyers mobiles de lumière intense propres à éclairer provisoirement de vastes espaces, comme des gares de chemins de fer, des chantiers de construction et des quais d'embarquement de troupes. Ce système d'éclairage, connu sous le nom d'*éclairage Donny*, a été déjà usité en France il y a plus de trente ans. Il nous est revenu d'Angleterre sous le nom de *lucigène*.

Il s'obtient par une sorte de pulvérisation de l'huile lourde dans laquelle on fait passer de l'air sous pression ; on produit ainsi de véritables torches qui répandent une lumière brillante et très intense.

On a utilisé la puissance calorifique des huiles lourdes pour le chauffage des fours dans lesquels on a besoin d'obtenir de hautes températures, et en particulier pour le chauffage des fours à gaz.

H. Sainte-Claire Deville a employé, pour brûler les

huiles lourdes, un appareil qui consiste en une grille en fonte d'un seul morceau, qui forme l'avant du foyer ; cette grille est presque verticale ; les barreaux sont creusés dans toute leur longueur, sur la face placée à l'intérieur du foyer, de façon à former des rigoles dans lesquelles l'huile est distribuée pour être brûlée ; le distributeur est constitué par un tuyau horizontal qui porte autant de robinets qu'il y a de barreaux ; un entonnoir placé sous chacun des robinets amène le liquide au moyen d'un tube incliné à chacune des rigoles pratiquées dans les barreaux de la grille. Pour allumer, on place contre la grille une certaine quantité de braise enflammée et on ouvre le registre du foyer ; la grille s'échauffe ; dès qu'elle est chauffée au rouge sombre, on ouvre l'un des robinets de distribution, et lorsque l'huile s'enflamme, on ouvre tous les autres robinets, en réglant l'écoulement pour que la combustion soit complète. Comme les conduites qui amènent l'huile lourde peuvent s'engorger facilement par le dépôt de la naphtaline, on a soin, en hiver, de maintenir l'huile à une certaine température dans le réservoir, au moyen d'un petit courant de vapeur.

On a même appliqué les huiles lourdes au chauffage des locomotives, et des expériences d'une certaine importance ont été faites à ce sujet, sous la direction de H. Sainte-Claire Deville, en 1869, au chemin de fer de l'Est.

Enfin, une dernière application des huiles lourdes à l'état brut, a consisté dans la fabrication des nuages artificiels, pour combattre les effets désastreux des gelées tardives du printemps. On dispose, dans les vignes par exemple, une série de godets placés de distance en dis-

tance et pleins d'huile lourde; on y met le feu; l'huile lourde en brûlant produit une fumée noire très épaisse et très dense et qui, pendant les matinées calmes et froides se maintient pendant un certain temps au-dessus des plans à protéger ; on a obtenu ainsi quelquefois des résultats très appréciables.

Brai. — Lorsque la distillation des derniers produits volatils contenus dans le goudron est terminée, il reste dans la chaudière une matière noirâtre, visqueuse, et qui durcit rapidement par le refroidissement. Cette matière est le brai. On le décante pendant qu'il est encore chaud, par un robinet placé à la partie postérieure de la chaudière et pour éviter qu'en coulant le brai ne dégage une quantité énorme de vapeurs épaisses d'un jaune noirâtre et d'une odeur désagréable, on le reçoit tout d'abord, dans des chambres de refroidissement imaginées par M. Regnault, celles-ci emprisonnent et condensent les vapeurs et fumées nuisibles, émises par le brai bouillant, ce qui a fait disparaître tout danger d'insalubrité pour le voisinage. De ces chambres de refroidissement, le brai s'écoule lentement dans d'immenses bassins en maçonnerie où il s'étale et se refroidit. On a soin de la faire toujours pénétrer à la partie inférieure des bassins. Lorsque le brai est entièrement refroidi, on le concasse et on l'emploie pour la fabrication des combustibles agglomérés de toute nature, briquettes de houille, briquettes de coke, etc. On emploie également le brai dans la fabrication des bitumes factices.

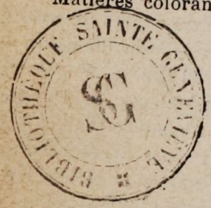
Nous avons passé successivement en revue, dans ce volume, les divers produits qu'on obtient en traitant la houille par la chaleur. On a vu à quelle variété exces-

sive de corps, la houille peut donner naissance, et certainement des recherches nouvelles mettront encore en lumière, des substances inconnues jusqu'à ce jour.

Voici donc une matière première : la houille, qui chauffe et qui éclaire, qui nous apporte les couleurs les plus variées, les parfums les plus suaves à côtés des odeurs les plus désagréables; qui fournit en abondance des produits toxiques et avec la même générosité nous dispense les produits les plus précieux pour la thérapeutique, nous apporte enfin jusqu'à des matières alimentaires, en même temps que des matières explosibles aux éléments les plus destructeurs, et il n'y a pas encore un siècle que ces divers produits nous sont connus! Le premier élément découvert, le gaz d'éclairage, se développant de plus en plus, a laissé à côté de lui une masse de sous-produits qu'il a fallu utiliser. On s'est ingénié à trouver des débouchés pour toutes ces matières à peine entrevues, et de découverte en découverte, et grâce aux travaux des Pelouze, des Würtz, des Berthelot, des Ch. Girard, des Hoffmann, des Runge, etc., on est arrivé à la situation actuelle. C'est donc bien le gaz et sa fabrication qui a été en quelque sorte la genèse de l'industrie des dérivés de la houille, et c'est à lui qu'on est en partie redevable de l'immense prospérité qui en est résultée pour un grand nombre d'industries les plus diverses et les plus variées.

FIN

TABLE DES MATIÈRES



FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES

LYON. — IMPRIMERIE PITRAT AINÉ, 4, RUE GENTIL.

MANIPULATIONS DE CHIMIE

COURS DE TRAVAUX PRATIQUES

Par E. JUNGFLEISCH
Professeur au Conservatoire des arts et métiers à l'École supérieure de pharmacie de Paris

1 vol. in-8 de 1240 pages avec 372 figures, cart. . . . . . . 25 fr.

Le traité de M. Jungfleisch servira de guide dans toutes les écoles où l'on voudra organiser des manipulations de chimie.

Voici un aperçu des matières qui y sont traitées :

Livre Ier. — *Instruments et procédés d'un usage général.*

Livre II. — *Études des éléments et composés chimiques.*

Cette partie est formée par l'exposé des opérations pratiquées pendant la première année d'études ; ces opérations sont des préparations de substances minérales ou organiques et des expériences propres à faire connaître les propriétés générales des corps simples ou composés. Elles portent sur des faits choisis de telle manière que l'expérience réalisée apporte à l'étudiant la plus grande somme possible de connaissances théoriques et pratiques.

Le premier chapitre est consacré aux métalloïdes et aux composés qu'ils forment entre eux. Le deuxième traite des métaux et de leurs combinaisons avec les métalloïdes ainsi qu'avec d'autres métaux. Le troisième chapitre est relatif aux substances organiques.

Livre III. — *Analyse.*

L'auteur expose avec détails les méthodes pratiques ordinairement adoptées et met l'étudiant ayant suivi la série des exercices indiqués en état d'effectuer régulièrement et avec précision l'un quelconque des procédés recommandés dans les ouvrages spéciaux. C'est dans le même esprit que les manipulations de deuxième année ont été instituées.

Après les indications nécessaires à l'analyse qualitative, tant minérale qu'organique, on trouvera donc dans le livre III un exposé des procédés d'analyse quantitative soit par les pesées, soit par les volumes. Les exemples ayant été choisis parmi les corps les plus intéressants, les principaux sujets de la chimie analytique se trouvent par suite examinés.

MANIPULATIONS DE PHYSIQUE

COURS DE TRAVAUX PRATIQUES

Par Henri BUIGNET
Professeur de physique à l'École supérieure de pharmacie de Paris

1 vol. gr. in-8 de 788 pages, avec 265 fig. et pl. color., cart. 16 fr.

